

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-001109

(43)Date of publication of application : 05.01.1990

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G02B 5/32
G02B 27/42
G03F 1/08
H01S 3/101
H01S 3/137

(21)Application number : 63-257673

(71)Applicant : WHITNEY THEODORE R

(22)Date of filing : 13.10.1988

(72)Inventor : WHITNEY THEODORE R

(30)Priority

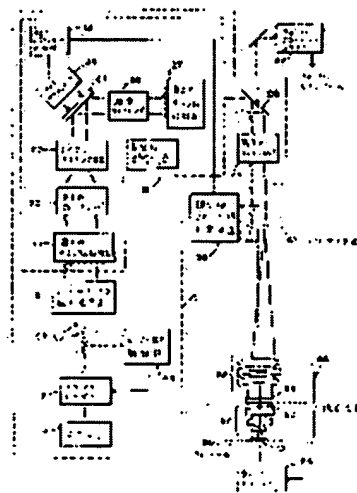
Priority number : 87 108435 Priority date : 13.10.1987 Priority country : US

(54) SYSTEM AND METHOD FOR HIGH-RESOLUTION IMAGE FORMATION

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the resolution of a light image formation or optical read system above a previous level while a refracting lens is incorporated together by well considering elements such as a wave front component distribution, an accurate distribution of illumination energy, and local, temporal, and spatial arrays of phase relation for operation of wave front aberrations.

CONSTITUTION: Transparent grating elements which are holographically arranged are placed in the array of refracting optical system, and one of the elements is generally in a critical aperture. The grating elements and other elements are illuminated monochromatically by many spatially incoherent and temporally coherent light sources which are so distributed as to cause phase delay which varies increasingly. The delay of a wave front varies by an increment which is a submultiple of the wavelength to obtain high diffraction efficiency. It is caused by a



⑨ 日本国特許庁 (J P)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A) 平2-1109

⑪ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)1月5日

H 01 L 21/027
G 02 B 5/32
27/42
G 03 F 1/08
H 01 S 3/101
3/137

C

7348-2H
8106-2H
7204-2H
7630-5F
7630-5F
7376-5F
7376-5F

H 01 L 21/30

3 1 1 S
L

審査請求 未請求 請求項の数 110 (全66頁)

⑭ 発明の名称 高解像結像システム及び方法

⑮ 特 願 昭63-257673

⑯ 出 願 昭63(1988)10月13日

優先権主張 ⑰ 1987年10月13日 ⑱ 米国 (U S) ⑲ 108,435

⑳ 発 明 者 テオドール ロバート アメリカ合衆国 91367 カリフォルニア州、ウッドラン
ホイットニー ドヒルズ、フエンウッドアベニュー 5500
㉑ 出 願 人 テオドール ロバート アメリカ合衆国 91367 カリフォルニア州、ウッドラン
ホイットニー ドヒルズ、フエンウッドアベニュー 5500
㉒ 代 理 人 弁理士 下田 容一郎 外 2 名

年月 永田 三郎

1. 発明の名称

高解像結像システム及び方法

2. 特許請求の範囲

(1) 実質的に単色の光源手段と、
臨界開口を有する光学系と、

該臨界開口に置かれた位相透過グレーティング手段とからなり、該グレーティング手段がブラトーの組を複数有するとともに、光源手段は光を光学システムとグレーティング手段の全体に分布させて与えることができるように配置されていることを特徴とする高度に補正された光学像を形成するためのシステム。

(2) 請求項1に記載のシステムにおいて、ブラトーの組は臨界開口で光エネルギーに、増加的位相遅れ量を与え、光源手段はビーム領域全体に分布する複数の光源を与えることを特徴とするシステム。

(3) 請求項2に記載のシステムにおいて、ブラトーの組は非線形的に変わる半径方向の幅を持つ

同心円状のパターンを含むことを特徴とするシステム。

(4) 請求項3に記載のシステムにおいて、光学システムは球面収差があり、グレーティング手段の非線形パターンは半径の関数として変わる位相遅延を生じさせ、位相遅延は一つの位相基準に関して光学システムの球面収差を抑えかつ補償することを特徴とするシステム。

(5) 請求項4に記載のシステムにおいて、光学システムは既知の色分散があり、グレーティング手段での色分散が、既光学システムでの色分散を抑えることを特徴とするシステム。

(6) 請求項4に記載のシステムにおいて、非線形のパターンの組が臨界開口の一部で少なくとも一つの180°の位相変化があるように構成されることを特徴とするシステム。

(7) 請求項4に記載のシステムにおいて、パターンはいろいろな増加的半径の変化に対して位相変化があるようにして構成され、一つより多い環状帯を含む一つの環機能を与えることを特徴

特開平2-1109(2)

とするシステム。

(8) 請求項4に記載のシステムにおいて、パターン中の選ばれた一つは、選ばれた腫機能に従って部分透過又は不透明であることを特徴とするシステム。

(9) 請求項1に記載のシステムにおいて、臨界開口を通過する波面の曲がり角は約 5° より小さい角度に限定されることを特徴とするシステム。

(10) 請求項1に記載のシステムにおいて、照明領域を全体に渡り、空間的に分散した点光源を提供するための光源を組み入れた手段を含むことを特徴とするシステム。

(11) 請求項1に記載のシステムにおいて、光学システムと位相伝達グレーティング手段は、光軸に沿った細く長く伸びた照明を生成する集束平面波に光を曲げるよう形成されることを特徴とするシステム。

(12) 請求項11に記載のシステムにおいて、光学システムが少なくとも一つの球面屈折素子を含み、位相伝達グレーティングは実質的に周期的な

半径方向の幅と間隔とを有する同心のブラトー・リングを複数有することを特徴とするシステム。

(13) 請求項1に記載のシステムにおいて、光学システムは一つの円柱レンズ手段を含み、位相伝達グレーティングは該円柱レンズ手段がそれに関して曲がっているところの軸に実質的に平行である、複数の実質的に平行な多重ブラトトラックを含むことを特徴とするシステム。

(14) 請求項12に記載のシステムにおいて、光学システムは標本を観察するための顕微鏡を含み、該顕微鏡は許容される程度の球面型収差を持つ屈折素子と該球面型収差を補償するグレーティング手段を含むことを特徴とするシステム。

(15) 請求項14に記載のシステムおよび方法において、光学システムは更に透明なカバー手段を含み、グレーティング手段はまた手段による球面収差を補償するシステムおよび方法。

(16) ある特定の波面で所望の光分布を与える光学システムにおいて、該システムが

方法。

(18) 請求項18の光学システムおよび方法において、制御可能な形で空間的コヒーレンスを減少させるための手段が、ランダム化された位相透過パターンを有する光路中の一対の面と、一連のパルスの間、面の一方を他方に対し動かす手段とを含むシステムおよび方法。

(20) 請求項17の光学システムおよび方法において、光波は約10,000の波を超える程度まで時間的にコヒーレントであり、球面収差は最大約75の波の程度あるいはそれ以下にまで制限され、光源手段は像面の各点に 10° 程度のオーダーの点光源を与えるシステムおよび方法。

(21) 光エネルギーノ精密な結像のためのシステムであって、

ビーム領域の全体にわたり実質上同じ波長の互いに独立な光源の複合となる形で照明を与える手段、

複数の、全体としてある決まった球面型の収差を伴って光結像を与える屈折光学素子、

選んだ波の数まで時間的にコヒーレントであり、空間的コヒーレンスは制限されている光を与える光源手段と、

光路中に配置され、概略所望の光分布を与える光学レンズ手段と、そして

光学レンズ手段と共に配置され、時間的コヒーレンスの波の数より効果的に小さな波面の位相遅れを与える位相プレート手段を含むシステムおよび方法。

(17) 請求項16に記載の光学システムおよび方法において、光源手段はコヒーレントな光源手段と、該コヒーレントな光源手段からの光の空間的コヒーレンスを制御可能な形で減少させるための手段を含むシステムおよび方法。

(18) 請求項18の光学システムおよび方法において、光にตอบสนอง空間コヒーレンス度を検知するための手段、その検知された空間コヒーレンス度に応答し該空間的コヒーレンスを減少させる手段を制御するための手段を含み、光源手段が連続的光パルスを与えるための手段を含むシステムおよび

特開平2-1109 (3)

屈折レンズ素子と組み合さり、局所的に位相遅れを変化させることにより、補正された合成波面が与えられるよう該屈折光学素子の球面型収差を補償するため複合独立光源からの光波に対し位相遅れ及び再配向を与える透過グレーティング手段を含むシステム及び方法。

(22)請求項21に記載のシステム及び方法において、該独立光源は実行的に空間的インコヒーレントであり、約10,000の波のオーダーの程度まで時間的コヒーレントであるシステム及び方法。

(23)請求項21に述べたものの中で、伝送グレーティング機関は一つの同心多重ブラトー・リング・システムを含み、リングのそれぞれはそれを通る照射で位相遅延増分量を与え、合一波光のいたるところで約1/20波程度の精度を提供する。

(24)請求項23に述べたものの中で、多重ブラトー・リングは変化するスロープと幅があり、増分の一つの整数最大値まで連続に変わる位相遅延を与える。

(25)光エネルギー・ビームの波光形式を精密に調

は球面型収差であることを特徴とするシステム。

(27)半導体ウエーハの上で精密に補償された単色像を提供するための一つのシステムは次のものを含む：

一つの光学軸に沿って配置され、臨界開口を有し、累積球面型収差が約7.5波以下で、また累積単色収差が正である一連の屈折レンズ素子と、

臨界開口に配置され、複数のリングを有し各リングは多重ブラトーを有する伝送グレーティングであって、該ブラトーは球面型収差に局部波光補償を与えるとともに、所定の波長を持つ光に対し負のクロマティズムを補償する伝送グレーティングと、

略々単色の光線を光学軸に沿った方向へ向ける照明手段であって、該略々単色の光は所定の波長を有し、10,000波のオーダーの時間的コヒーレンスを有するとともに実質的に空間的インコヒーレントである照明手段とからなることを特徴とする半導体ウエーハ上に精度よく補償された単色の像を提供するシステム。

節するための一つのシステムは次のものを含む：

一つのビーム領域の全体に渡り波長が略々同じ多数の光源の形で照明を提供する手段と、

ビーム照明経路に配設された多数の屈折レンズ素子であって、開口での光線高さの所定の関数として対称に変わる所定の収差特性を有する光結像を提供するとともに、臨界開口での像の高さとしてあるいは光線子午線の角オリエンテーションとして変わる収差コンポーネントに対して高度な修正力を有する屈折レンズ素子と、

ビーム照明経路における臨界開口に配設され、屈折レンズ素子と協働して臨界開口における光線高さの所定の第二関数に従って位相遅れを生ぜしめるとともに照明の方向を変え、また屈折レンズ素子の所定のレンズ特性に補償を与える伝送グレーティング手段とからなることを特徴とする光エネルギービームの波光形状を精密に調節するシステム。

(26)請求項25に記載のシステムにおいて、位相ブラートによって修正される臨界開口での対称変動

(28)請求項27に記載のシステムにおいて、各ブラトーは光が局部的に入射する領域で光波の増加的遅れ量を変化せしめ、照明手段はスペクトルの紫外領域で0.03nmのオーダーのバンド幅を有する複数の空間的インコヒーレントで、位相不均一な光源を提供することを特徴とするシステム。

(29)請求項28に記載のシステムにおいて、複数のリングはそれぞれが少しずつ異なるブラトーを有するとともに選ばれた部分集合内に配設され、この部分集合の中ではブラトーの位相関係が変化して少なくとも二つの域を持つ確機能を定め、また照明手段がパルス・レーザー源で構成されることを特徴とするシステム。

(30)請求項28に記載のシステムにおいて、リングの幅と傾きが変化して合成波光の波光変化を局部的に補償する光学遅れの波長を提供し、波の位相関係が π 位相形式で変化し、かつグレーティングによって生じる最大の曲げは約5°であることを特徴とするシステム。

(31)請求項29に記載のシステムにおいて、照明手

特開平2-1109 (4)

段はエキシマレーザと、エタロン同調キャビティと、位相ランダムマイザ手段とを含み、位相ランダムマイザ手段は照明経路に配設された一対の準ランダム位相プレートと、該プレートに対する光線の空間的關係を変化させる手段とからなることを特徴とするシステム。

(32) 請求項31に記載のシステムにおいて、位相ランダムマイザ手段は光源での空間的コヒーレンスの程度を検知する手段と、検知したコヒーレンスの程度に応じて、準ランダム位相プレート間で光源の様々な相対移動を生ぜしめる手段とを含み、該システムはまた照明手段の光エネルギーに応じて、露光時間を制御する手段を含むことを特徴とするシステム。

(33) 増加的に変わる狭いトラックのマイクロ石版パターンを持つ透過性ブレース・グレーティング・プレートであって、該プレートでのトラックの微分高さは最大値を持ち、この最大値は選ばれた波長での入射単色光の一つの波長をプレートの屈折率で割ったレートに比例し、トラックの幅が

調和させられて、所定の関数によって開口の上での単色光の約 $1/20$ 波長の間で波長の局所的位相遅れを与えて波長マイクロ構造の再分布を生じさせる透過性ブレース・グレーティング・プレートと、

選ばれた波長を持つ単色光でプレートの上にパターンを照明するための手段であって、該単色光は所定の周期性があり、複合位相ランダム光源を構成する手段とからなることを特徴とする理想化された規格と異なる収差を持つ合成波長に正確な非球面修正を与えるための光学システム。

(34) 請求項33に記載の光学システムにおいて、単色光が紫外領域にあり、トラックは同心で、高さが徐々に変わるような周期的なシーケンスで配列されており、最小値でのトラック幅は1ミクロンのオーダーであり、かつプレートによって生じる光の最大ベンディングは約 3° であることを特徴とする光学システム。

(35) 請求項34に記載の光学システムにおいて、該システムは更にグレーティング・プレートがある

光学経路で複数の球面光学素子を含み、その光学素子は累積収差を提供し、プレートはそんな収差に補償を与えることを特徴とする光学システム。

(36) 請求項35に記載された光学システムにおいて、該システムはプレートが配置された臨界開口を有し、連続パターンは異なる位相の部分集合で配列され、少なくとも二つの環状ゾーンを含む隠機能を提供し、

球面レンズでの補償される累積収差は主に球面型収差とクロマティズムであることを特徴とする光学システム。

(37) 請求項36に記載された光学システムにおいて、焦点深度増加のための8つの環状ゾーンを含む隠機能があり、単色光の周期性は波が最大位相遅れの少なくとも50倍ぐらいの大きさでの時間的コヒーレンスを持つような周期性であり、複合の位相ランダム光源は照明があてられる各点に約 10^3 個のソースを提供することを特徴とする光学システム。

(38) 請求項37に記載の光学システムにおいて、単

色光の波長は約248nmで、プラトーの最大高度微分は約0.144ミクロンであることを特徴とする光学システム。

(39) 請求項38に記載の光学システムにおいて、トラックがリングの中に配列され、該リングは各基準リング毎に8つのトラックを有し、 $1/8$ 波長光学遅れ段階において0から7/8波高さまで増加的に変わることを特徴とする光学システム。

(40) 一つの平面透明基板經由で伝達した一つの波長の間での変わる波遅延を提供するために用いる一つの伝送グレーティングを作る方法は次のステップを含む：

基板上での感光層を照射して第一基準パターンを与える、幅が2ミクロン程度のトラックを提供し、

第一基準パターンに従って基板上で前もって選ばれた第一高度でのトラック層を形成する。そんな層は均一な高度と均一な伝達特性を持つ；

このように用意された基板の上で感光材料の上層層を提供する；

特開平2-1109 (6)

基準パターンを従い、感光材料の照射によって、幅が約2ミクロン程度の第二セット・トラックを形成する：

基準パターンに従って基板の上で選ばれた第二高度を持つトラック層を形成し、一番目に累積である二番目の一様微分高度、透明の層を構成する：そして

感光材料で基板を連続におおい、照射によってトラックパターンを形成し、そして基板の上で多くの高さがちがう層を持つトラックが仕上がるまで高さが異なる透明材料の累積層を形成する。

(41)請求項40で述べたものの中で、トラック層が二進変化数列で与えられ、累積層の作りかたは増加的に変わる連続のトラックを形成する。

(42)請求項40で述べた方法の中で、少なくとも大多數のトラックが増加的に変わる連続の同心プラトーの形で配列され、波遅延多重プラトー・リングを形成する。これらのリングは前もって決めた級数により、半径の関数として変わる半径方向の幅とスロープを持つ。

(47)請求項40で述べた方法の中で、層パターンは基板での照射されたパターンの上に前もって決めた一様高度での光透明材料を蒸着することによって形成される。

(48)請求項47で述べた方法の中で、蒸着された材料は純度の高いシリカである。

(49)請求項48で述べた方法の中で、トラックは基板構造上に深度が1ミクロンより小さいフォトレジスト材料で層を作り、同心トラック・パターンでフォトレジスト層を照射し、照射されたパターンから材料を洗い出して露光されていない領域を残し、露光されていない領域に材料を蒸着し、露光されていない材料で取ってしまう；その後このシーケンスを繰り返して新しい感光材料の蒸着を始めるようなステップによって提供される。

(50)請求項40で述べた方法の中で、層は基板材料の移動によって形成される。

(51)請求項50で述べた方法の中で、連続層は次のシーケンスで移動される：感光材料の蒸着；感光材料上でのトラック・パターンの照射；照射後の

(43)請求項42で述べた方法の中で、同心トラックは伝送グレーティングに入射する単色光に対して波長で光学遅延が起こるプラトーを形成する。プラトーは基板のベース表面に対して最大の光学遅延を持つ。

(44)請求項43で述べた方法の中で、層の光学遅延は入射単色光の波長に対して二分の1、四分の1、及び八分の1の波長であり、レベルが0から7/8波長までの八つの増分を累積的に形成する。

(45)請求項44で述べた方法の中で、基板と層表面の基本的なレベルの間で光学遅延での最大変化は大体510 μ mの厚みより大きくならない。それは248nm波長での光に対して光学遅延が八分の7の波長を要求される。

(46)請求項40で述べた方法の中で、トラックは前もって決めた最大高度を持つプラトーの級数を規定する。プラトーの一つの級数は一つのリングを規定し、リングの幅は前もって決めた関数に従って変わり、プラトーは変わるスロープを形成する。

感光材料の露光されていない部分の移動；与えられた増分深度までの基材エッチング；露光された材料の基板からの移動。もう一つの層の感光材料で層を作ってから、照射、エッチング及び移動等のステップを繰り返す。

(52)請求項40で述べた方法はまた次のステップを含む：始めに透明材料のオーバーコートで基板を用意する；基板で基準トラックを提供するために透明材料の選ばれた部分を取り除く、そしてその後、基準トラックを基準として層状トラックを提供する。

(53)請求項52で述べた方法の中で、基準トラックは入射リングの環状パターンで中心領域の外に配列される。その中心領域には多重プラトー・リングは基準リングと同心の円の形で配列される。

(54)請求項53で述べた方法は更に次のステップを含む：センターリング・バンドを形成し、基準リングと多重プラトー・リングの間にグレーティング・リングを配置する。

(55)請求項54で述べた方法の中で、基準リング及

特開平2-1109 (6)

びセンターリング、位置決めリングはクロム材料で構成される；そして更に次のステップを含む：半径が多重ブラトー・リングのそれより小さい領域でもう一つのセットのクロム材料基準リングを提供する。

(56) 一つのブレース・グレーティング位相レンズを作る方法は次のステップを含む：

一つの光透明平面エレメントの上に一つのフォトレジスト材料の層を作る；

フォトレジスト材料の上に多くの第一トラックの映像を形成する平面エレメントの上に与えられた微分高度を持つ第一トラックを形成する；

フォトレジスト材料の第一層を取り除く；そして同じシーケンスで微分高度を持つ平面エレメントの上に連続トラックを形成する。そのトラックは二進式で与えられた微分高度まで変わり、そして累積的に及び選択的にオーバーレーして、増分的に変わる級数を形成する。

(57) 請求項56で述べた方法の中で、映像は個々のフォトマスクを通して照射することによって形成

される。

(58) 請求項57で述べた方法の中で、トラックは同心円であり、映像は平面エレメントを回転しながらフォトレジスト材料の上にトラックを動的に書き込むことによって形成される。

(59) 請求項56で述べた方法は更に次のステップを含む：一つの選ばれた領域でも平面エレメントの上に始めに基準パターンを書き込み、基準パターンを基準として連続トラックの映像を形成する。

(60) 請求項59で述べた方法の中で、基準パターンはトラック位置の向こう側での任意境界の間で選ばれた位置に書き込まれる；トラックは同心リングの形で作られる；更に次のステップを含む：基準パターンからトラック中心と中心に対する半径方向のトラック位置を決めることによってシステムを校正する。

(61) 高い分解力結像のための一つのシステムは次のものを含む：

臨界開口を持つ一つの光学システム；

光学システムを通して伝送する与えられた波長

を持つ単色に近い第一光ソース機関；

臨界開口に配置された第一伝送グレーティング構造を含む光ベンディング機関、それは光で面的に分布した変わる波遅延を提供するためのものである。ここで言っている光は光学システムを通して伝送し、調節された合一波長を提供する波の第一波長を持つものである。光ベンディング機関は第一伝送グレーティング構造から除去された第二伝送グレーティング構造をも含む；そして

第二波長を持つ第二単色光ソース機関、それは照射される対物のアラインメントのために第二伝送グレーティング構造を照射する。

(62) 請求項61で述べたシステムの中で、第一伝送グレーティングパターンは光ベンディング機関内部領域で多くの同心トラックによって形成される；第二伝送グレーティング構造は内部領域のまわりに配置された一つの環状パターンである。

(63) 請求項62で述べたシステムの中で、第一及び第二伝送グレーティング構造のそれぞれは多くの同心リングを含み、そのリングのそれぞれは高度

が変わるブラトーの級数によって一つの透明基板の上で形成される。

(64) 請求項63で述べたシステムの中で、第一単色光ソース機関は紫外線領域で作用する；第二単色光ソース機関と第二伝送グレーティング構造はそれら自身が形成した映像に対して一つの対物平面でよく集中した基準ビームを提供する。

(65) 請求項64で述べたシステムの中で、光学システムは更に光学径路に沿って配置された非球面機関を含み、第二光ソースから来た光の形を直径が第二伝送グレーティング構造のそれに対応する環状ひとみに変える。

(66) 光学システムで、一つの断面領域のいたるところでの単色に近い照射ビームの選択的に位相を遅延する別々の面複コンポーネントに用いるプレートは次のものを含む：

上に多くの光ベンディング・リングがあるほとんど平らな光透明基板、それはベース球面ベンディング特性を規定する。それぞれのリングは基板の基準表面に対し連続のブラトーによって形成さ

特開平2-1109 (7)

れる。プラトーの高度はプラトーそのものの上に入射した単色光の光学遅延波長と結びつけられた増分によって変わる。最大高度は一つの波長あるいはその整数倍より小さい値に限定される。リングの幅はリングの中心軸に対して非線形に変わる。そして、リングは10ミクロン程度での最小半径方向幅を持つ。

(67)請求項63で述べたシステムの中で、リングは基板に蒸着された光透明シリカ層によって形成される。

(68)請求項63で述べたシステムの中で、プラトーは基板の基準表から除去された深度の異なる層によって形成される。

(69)請求項66で述べたシステムの中で、プレートのベース球面特性は単色に近い照射ビームの周波数で関連した屈折光学システムの色分散に補償を与えるように選ばれる。

(70)請求項63で述べたシステムの中で、リングはセットで配置され、一つより多いゾーンを持つひとみ関数を規定し、その組み合わせは有効にシステム

の焦点深度を増加する。

(71)請求項70で述べたシステムの中で、プラトーの連続リング・セット間でのプログレッションは隣接したリング・セットを通過する波長位相の間で前もって決めた関係を設立するために変えられ、それでひとみ機能が与えられる。

(72)請求項71で述べたシステムの中で、プログレッションは π 位相形式でインタラプトされる。

(73)請求項66で述べたシステムの中で、リング・パターンは少なくとも局部的に透明である選択的に置かれたリング領域に隔てられる。

(74)請求項73で述べたシステムの中で、プラトーは透明パターンがあり、少なくとも二つの π 位相関係させられたひとみ機能を規定する；ひとみを規定するリングの少なくとも一つは少なくとも局部的に透明である。

(75)請求項66で述べたシステムの中で、基板は透明リング・パターンの外で第一環状基準パターンそして透明リング・パターンの中では第二環状基準パターンを含む。

(76)請求項75で述べたシステムの中で、環状アライメント・パターンは基板の上で多くのクロム・リングを持つ。

(77)一つの光学システムで、分布した単色ビーム・マイク構造の位相補償のための光透明メンバーは次のものを含む：

幅の変わる多くの多重プラトー・リングを持つ光透明材料の一つのベース、プラトーは前進的シーケンスでリングの間で変わり、単色ビーム波長での微少な波遅延を提供する。

(78)請求項77で述べたシステムの中で、リングは一つの中心軸に対して同心であり、異なるゾーンを持つひとみ機能を規定するために、位相関係の異なるセットで配置される。

(79)請求項78で述べたシステムの中で、リングは5°より小さい突き当たるビームの最大ベンディングを提供する；リングに引き起こされた全部の局部領域波遅延は波長に比例した整数倍範囲である；直径が5"の一つのひとみに対して約800より多いリングがある。

(80)請求項79で述べたシステムの中で、局部領域波遅延の最大値は約一つの波長である；リング幅の最小値は約1ミクロンである。

(81)光透明システムは次のものを含む：

内部セクタを持つ光透明基板、その基板は多くの第一リングを含み、リングのそれぞれは連続プラトーによって規定される。プラトーの高さはプラトーを通過する単色波エネルギー第一波長の局部波長位相を選択的に遅延するために増分的に変わる。；

多くの第二リングを含む一つの中間セクタ、リングのそれぞれは連続プラトーによって規定される。プラトーの高さはプラトーを通過する単色波エネルギー第一波長の局部波長位相を選択的に遅延するために増分的に変わる；そしてグレーティングを規定する交代透明式及び交代透明式でない材料の多くのリングを持つ基準セクタが少なくとも一つ；

その中で、すべてのリングは一つの光学軸と同心である。

特開平2-1109(8)

(82)請求項81で述べたシステムの中で、第一多数リングの厚みと幅は紫外線領域での光の局部波長の選択的な位相遅延を考慮した上で決められる；個々のプラトーは紫外線光波長の規測分数によって変わる。

(83)請求項82で述べたシステムの中で、透明領域での第二多数リングの厚みと幅は高い領域での光の局部波長を変調するために選ばれる；少なくとも一つの基準セクタは選ばれた光ベンディング・パワーを持ち、半径方向に分離されたアラインメント・グレーティング・リングのバンド、基準リングの一つの最も外のセット及び基準リングの一つの最も奥深い部分セットを含む。

(84)請求項83で述べたシステムの中で、基板は一つのベース高さレベルがあり、リング間でのトラックは個々のプラトーを規定する。プラトーは八分の1の増分で変わり、一つの最大高さを持つ。その最大高さは近似的に単色光波長の八分の1を基板屈折率で割ったものに等しい。一つの基準リングに八つのプラトーがある。そして紫外線

ング特性を持つ；

グレーティング・プレートと第一光学素子の選ばれた領域を通過する光の第一焦点ポイントを基準として第一光学素子の位置を決める；

第二光学素子をそのレンズ装置での大体基準位置に置く；

第二領域でのグレーティング・プレートを通して平行光線に向ける。このグレーティング・プレートは第一レンズと第二レンズの累積特性にマッチするように選ばれたベンディング・パワーがあり、第二光学素子が集中されて、そして軸方向に置かれた時は光学軸上での第一焦点ポイントで光の集中を与える；そして

連続レンズ素子が入えられた時、グレーティングの異なる領域を照射するシーケンスを繰り返す。

(87)請求項86で述べたシステムの中で、伝送素子は多くの同心リング・セットを規定する。それぞれのリング・セットは一つあるいはそれより多いレンズ素子の前もって決めた組み合わせにマッチす

光透明領域で少なくとも二つのゾーンを持つひとみ機能を与えるために、プラトー・シーケンスは n 位相形式でインタラプトされる。

(85)請求項84で述べたシステムの中で、紫外線透明領域はひとみ機能があり、少なくとも三つのゾーンを用いる。そして少なくとも多少のトラックは局部的に透明であり、局部波長の光閉そくを提供する。

(86)高い分解力レンズ・システムでの個々のレンズ・素子のセンターリングと位置決めを行ない、臨界開口で伝送グレーティング・プレートをを用い、伝送グレーティング・プレートに単色光に対して選択的に変わる光ベンディング・パワーを持つ連続グレーティング・パターンを与える方法は次のステップを含む；

伝送グレーティング・プレートをシステムの臨界開口位置に置く；

平行光線をグレーティング・プレートの第一領域を通過する方向へ向ける。グレーティング・プレートは第一光学素子にマッチされた光ベンディ

る特性を与える。

(88)請求項87で述べたシステムは更に次のようなステップを含む；光学軸上での第一焦点ポイントに小さな隔膜を置く；隔膜と以前置かれた光学素子を逆に通過するように伝送グレーティング・プレートの別の選択された領域を照射する。別の選択された領域はグレーティング・プレートの下流にある第一光学素子の光学特性にマッチするように選ばれたベンディング・パワーを持ち、光を光学軸での第二焦点スポット上に集中する。更にグレーティング・プレートの別の選択された領域の下流にある異なる光学素子に対してシーケンスを繰り返す。

(89)光学経路で補償平面位相レンズと屈折レンズを持つ一つの組み立てられ、一体にされた光学システムの作り方は次のステップを含む；

一つの最も外の基準パターンと平面位相レンズ上での中心軸と同心の一つの隣接されたグレーティング・パターンを形成する。グレーティング・パターンはいくつかの異なる光ベンディング

特開平2-1109 (9)

領域がある；

基準パターンを基準として、平面位相レンズの上で少なくとも一つのセットの同心位相補償リングを形成する；

平面位相レンズ上での与えられた光ベンディング領域と第一屈折レンズを照射することによって光軸と沿ったところで第一屈折レンズの位置決めとセンターリングを行なう；そして

平面位相レンズ上での異なる光ベンディング領域を用いて、連続屈折レンズの位置決めとセンターリングを行なう

(90) 請求項89で述べたシステムの中で、異なる光ベンディング領域は異なる個々のレンズ組み合わせの累積屈折を補償する光ベンディング角で配列される。

(91) 請求項90で述べたシステムの中で、平面位相レンズの第一側にある屈折レンズの照射は平行光線で行われ、第一焦点ポイントを与える。そして、第二側での屈折レンズの照射は一つのポイント・ソースで行われる。このポイント・ソース

基準リングで検出された偏心によって側面にビームを偏向し、基準リングが規定した中心からの偏向が0.5ミクロンより小さくなるような精度を提供する；

露光されたパターンに従って第一プラトー・レベルを与えるために、基板の取り除きと処理を行なう；

第二フォトリソ層で基板を再びおおい、その後の側面再調節によってそれを垂直位置に再び載せて、偏心変化を修正する。その後、このように露光されたフォトリソパターンに従って第二プラトー・レベルを用意する；そして

必要な数のプラトー・レベルが規定されるまでシーケンスを繰り返す。

(93) 請求項92で述べたシステムの中で、プラトー・レベルの増分は累積的に一、二、四と言うようなシーケンスで変わり、累積ステップの2倍合計によって異なるプラトー・レベルが提供される。

(94) 平面メンバー上での基準位置と同心の高い精

度は第一焦点ポイントにあり、第二側で第二焦点ポイントを規定するために、第一側でのレンズと平面位相レンズを通して照射する。

(92) 高さが増分的に変わる微小プラトー・グループによって規定された多くのリングを持つ基板を用意する方法は次のステップを含む；

基板を基準中心軸に垂直の平面で回転しながら基準リングの外部シーケンスを提供する。基準リング規定の間での回転軸はシステムによって規定されるプラトー・トラックに対して基準軸を構成する；

上でトラックが与えられる基板の表面をフォトリソ材料でおおう；

基板を集中されていないようにほとんど垂直の位置に載せる；

基板が載せられた位置の平面で回転された時、基準リングの一つの固定されたポイントに対する偏心を監視する；

狭いビームの向きを分離された領域でのフォトリソでおおわれた基板へ向ける；

密パターンを書き込むための一つのシステムは次のものを含む；

基準位置と同心の表面基準パターンを持つ一の平面メンバー；

平面メンバーを一つのほとんど集中された位置に入れるためのトップ表面機関を含む回転できるスピンドル機関；

一つの堅固なベース；

可動的にベースの上に載せられたキャリッジ機関、それは制御信号に応じて、位置を平面メンバーの平面に沿った基準方向に移動する機関を含む；

平面メンバーの平面に隣接した一つの選ばれた書き込む領域に置かれたパターン書き込み機関；

平面メンバー上での表面基準パターンに隣接して置かれた監視機関、それはスピンドルが回転中の時、平面メンバーの同心性からの偏差を示す制御信号を生じさせる；そして

キャリッジ機関とベースを別々に監視機関の一つと結合する機械的な機関、そして制御信号に応じ

特開平2-1109 (10)

て監視機関に対する基準方向に沿った平面メンバー上での書き込み位置を変える書き込み機関、それによってパターンスピンドル上での平面メンバーのcentrationより正確に書き込まれる。

(95) 請求項94で述べたシステムの中で、回転できるスピンドル機関はキャリジ機関で回転するように連結される。そして、機械的な機関はパターン書き込み機関とベース及び監視機関とキャリジ機関を連結する。

(96) 請求項94で述べたシステムの中で、回転できるスピンドル機関はベースで回転するように連合され、機械的な機関は一緒に動かすためにパターン書き込み機関とキャリジ機関を連結し、また監視機関とベースを連結する。

(97) 請求項96で述べたシステムの中で、スピンドル機関のトップ表面機関は水平である。その中で、ベースはスピンドル機関を回転できるようにささえるための空気軸受機関を含む。その中で第二空気軸受機関はキャリジ機関とベースの間に配置される。

できるメンバー位置に対して半径方向にある；

空気スピンドル・ドライバ機関を含む空気スピンドル機関、それはベース機関のリセスに置かれる。そしてベースに対して支持するための空気軸受機関を含む。空気スピンドル機関は基板を受けとめるための上部水平表面と水平平面で基板とほとんど隣接した二つの軸を生じさせるための周辺機関を持つ；

空気ソリ機関の第二基準表面方向に沿った位置を監視するための干渉計機関と干渉計機関が検出した位置に応じて第二基準表面方向での空気ソリの位置を制御するためのサーボに制御されるアクチュエータ機関を含む機関；

空気ソリ機関上に載せられた書き込み機関、それは空気ソリ機関の位置に応じて変調された光ビームをトラック位置での基板の表面に向ける；

空気スピンドル機関上での基板位置に応ずる機関、それは空気スピンドルの回転の間に任意に置かれ、そまつに調節された基板での偏心変化を検出する；

(98) 請求項96で述べたシステムの中で、平面メンバーはフォトに応ずる表面を持つ。その中で、パターン書き込み機関は平面メンバーの表面に突き当たる狭い光ビームを規定する機関を含む。その中で、書き込み位置を変えるための機関はビーム偏向板を含む。そしてその中で、表面基準パターンは少なくとも一つの基準リングを含む。

(99) 請求項98で述べたシステムの中で、表面基準パターンは多くの同心基準リングを含み、監視機関は周期的に変わる透明度基準パターンを持つ感光機関を含む。

(100) 高い精度で基板の上で同心円を提供するための一つのシステムは次のものを含む。；

堅固なベース機関、それは回転できるメンバーを受け取るためのリセスを持ち、また第一水平基準表面と第二垂直基準表面を含む；

空気ソリ機関、それはベース・メンバー第一基準表面での支持のための第一空気軸受機関と第二基準表面に対して空気ソリ機関を基準にするための第二空気軸受機関を含む。第二基準表面は回転

そして

検出された偏心変化に応ずる機関、それは基板に書き込む前に、第二基準表面方向に平行である方向で書き込み光ビームを偏向し、偏心変化を補償する。

(101) 必要なトラック位置と対物素子上での偏心の約0.1 ミクロン範囲の中に精密な同心トラックを書き込むシステムは次のものを含む；

水平基準表面と垂直基準表面を持つ堅固な基準メンバーを提供する機関；

堅固な基準メンバーの上で空気軸受によってキャリジ機関をささえる機関を含むキャリジ機関、それは水平平面での第一軸に沿って可動である；

空気スピンドル機関、それは空気スピンドル機関を一つの垂直軸のまわりで回転する機関と空気スピンドル機関を回転しながら、それを基準メンバーに対してほとんど固定された垂直中心軸位置でつり下げる機関を含む。第一軸は水平平面で空気スピンドル機関の半径とほとんど平行である；

特開平2-1109 (11)

平面表面を持つ一つの対物素子、その平面表面は前もって決めた中心軸と同心の基準パターンを持つ；

水平のプレート表面を維持しながら上述の対物素子を始めに空気スピンドルの上に置く機関、それは周辺位置決め機関を含む；

堅固な基準メンバー上に載せられる機関、それは回転の間で上述の対物素子上での基準リング・パターン位置を検出する；

キャリッジ機関と連結された機関、それはキャリッジ機関を側面から与えられた方向に移動して、上述の素子上でトラックの位置を決める；

ビームを素子表面に向けるキャリッジ機関と連結されたビーム書き込み機関、この機関はビーム偏向板機関を含む；そして

対物素子の回転の間で基準リング第二位置での変化に応ずる機関、それは偏向板機関を制御し、回転の間で上述素子偏心での変化をほんとうの回転軸に対して補償する。

(102) 請求項101 で述べたシステムの中で言われ

対物上での基準証印に対して、集中されたビームの位置を検出する機関；そして

対物と連結され、対物位置の制御を検出する機関に応ずる機関。

(104) 請求項103 で述べたシステムの中で、伝送素子の第一領域は中心軸に対して同心の多重ブラトー・リングの中心領域を含み、第二領域は多重ブラトー・リングの中心領域に対する環状領域（それも中心軸と同心である）を含む。

(105) 請求項104 で述べたシステムの中で、第一波長光ソースは紫外線領域で作用し、第二光ソースは赤い領域で作用する。その中で、対物は感光表面で基準マークがある半導体ウェーハであり、いくつかの映像パターンを受ける。

(106) 第一波長光エネルギーに応ずる感光表面と軸受位置基準証印を持つ対物の位置を決める一つのシステムは次のものを含む；

制御信号に応ずる位置決め機関、それは対物の二つの直交軸での位置を調節する；

第一と異なる第二波長光エネルギーを提供し、

た基準リング・パターンの位置を検出する機関は選ばれた対物平面で基準リングの映像を形成する機関、対物平面で周期パターンを持つ焦点板機関、そして基準リングと焦点板の合一映像を検出する光検出機構機関を含む。その中で、偏向板機関は書き込むビームをキャリッジ機関の移動方向と平行の方向に沿って偏向する。

(103) 精密な映像がある基準証印を持つ対物の位置を決め、それを照射する一つのシステムは次のものを含む；

いくつかの屈折光学素子と光エネルギー伝送素子、後者は光径路での選ばれた第一波長に応ずる第一領域を持ち、光学径路に沿って通過する第一波長光の波光を補償する。補償素子は選ばれた第二波長に応ずる第二領域を含み、ビームを対物上に集中する；

第一波長光ソース機関、それは波長が補償されたビームで光学径路を経て対物を照射する；

第二波長光ソース機関、それは集中されたビームで伝送素子の第二領域を経て対物を照射する；

対物を照射する機関；

第二波長光エネルギーの径路に配置された光ベンディング機関、それは光エネルギーを対物上に集中する。光ベンディング機関は多くの多重ブラトー・リングを持つ透明プレートを含む；

集中されたビームの対物上での基準証印に対する位置を検出し、位置決め機関のために制御信号を生じさせるセンサー機関。

(107) 請求項106 で述べたシステムの中で、対物は表面でフォトリソ材料がある半導体ウェーハを含む。その中で、光ベンディング機関は位相補償領域を含む。そしてその中で、システムは更に第一波長光エネルギーの向きを位相補償領域を通してフォトリソ材料に突き当たるように向ける機関を含む。

(108) 請求項107 で述べたシステムは第一波長光エネルギーのための光学径路を含む。この光学径路は与えられた断面領域に配置され、光ベンディング機関は上述の与えられた領域のまわりに配置される。その中で、システムは更に第二波長光の

特開平2-1109 (12)

環状ビームの向きを光ベンディング機関を通るように向ける機関を含む。

(109) 第一波長光エネルギーに応ずるフォトレジスト・コーティングを持ち、第一波長の映像で照射されて、そして基準証印を含む半導体ウェーハの位置を決め、それを照射する方法は次のステップを含む：

第一と違う第二波長集中されたビームでウェーハを照射する；

集中されたビームの基準証印に対する位置を検出する；

検出された位置に応じてウェーハの位置を決める；

第一波長光エネルギーでウェーハを照射し、映像を形成する。

(110) 請求項109で述べたシステムの集中されたビームで照射するステップは一つの環状ビームを形成するのを含む。その中で、環状ビームは前もって決めた角度でのベンディングによって集中される。そしてその中で、ウェーハは環状ビーム間

る。その一つの客観的目安は最小線幅の仕様である。最近まで1ミクロンの線幅で適当であったのが、産業界の現在の目標 0.5ミクロン以下更には、0.3ミクロン以下とサブミクロン領域の線幅にまで下がってきている。これは1ミリメートルに数線本のオーダーの線解像を屈折光学システムに要求するが、適当なアパーチャと焦点深度を持つ光結像システムでこれまで達成不可能であった。

これらの問題に答えて、光学産業界ではすぐれたレンズ設計電子計算機プログラムを用いて、もっと精巧な多くの枚数のレンズシステムをだんだんと考案してきた。その進んだ技術水準は、「1線」と呼ばれるレンズシステムによって例証される。この「1線」レンズシステムは最高品質のガラスからなるおよそ二十枚の屈折要素を複合的に配置することを利用している。しかし、このシステムが達成できる最高の結果は 0.7ミクロンの線幅解像の範囲にある。これは複雑なレンズ設計に伴う多数の要因（色収差(chromaticism)、コ

での領域を通るように向けられた第一波長光エネルギーで照射される。

3. 発明の詳細な説明

(発明の背景)

電子ビームあるいはX線に代表される原子粒子物質に基づいた高解像システムのような他の技術が利用できるにもかかわらず、半導体工業で用いられる光リングラフィーシステムや幅広い応用に用いられる顕微鏡システムに於けるように高解像結像システムの応用は続いて増えている。電子ビームやX線のシステムは像形成に長い時間を要する他、膨大な費用を要し、操作性も悪く、予見できる将来の多くの応用に対しては、光結像方式がなお好ましいものとして残ることを確実にしている。

しかし、より正確な技術に対して常に増している要求により、光結像方式が屈折光学系によって達成できる解像値の限界に実際上達してしまっただ。たとえば、高密度大規模集積回路の大きさは常に小さくなり、より高い素子密度で作られてい

マ収差、非点収差、球面収差が含まれる)及び目標地点で十分な均一性と適当な波動エネルギーを実現するという問題により、現在約 0.7ミクロンと言う最終的な限界に置かれているからである。このオーダーでの精度を扱う時に、製造に於ける固有の制限もある。例えば、最高のダイヤモンド旋削手段をもってしても、短波長での動作に対しては非常に荒い光学表面となってしまう(たとえば、紫外)。

しかし、半導体産業では光結像方式に基づいた多くの生産及び検査手段を考案してきた。また、今後もこれらを利用するのが好ましい。というのはこれらの手段が特別な利益を提供するからである。例えばシリコンあるいは他のウェーハの上に積み重なった層を作る際、高解像屈折光学系を取り入れた「ウェーバステッパー(st stepper)」が利用される。作られるそれぞれの層に対し、異なった高精度のフォトマスクがある。最初、ウェーハは適量の光エネルギーで露光することにより像が、そこで定着され得るようなタイプの感光材料

特開平2-1109 (13)

の層でおおわれる。そして、ウエーハステッパ (stepper) の機種によりウエーハは光軸に対してえらばれたマトリクス位置に正確かつ連続的に置かれる。ウエーハ上のマトリクスパターンでのおおの位置で、代表的には像をある値 (普通は5分の1あるいは10分の1) だけ縮小する光学システムでフォトマスクを通じて露光が行なわれる。このタイプのシステムに対する本来の要求は個々の露光で光エネルギーが適当であること、露光された像は前部の像面において均一であること、そして焦点深度が十分で、解像力が設計仕様を満足することである。これらの要求を同時に満たすのは易しいことではない。というのは、像の大きさが極めて小さいことと極めて高い精度が要求されることから可能な設計の選択余地が大きく制限されるからである。いったんマトリクスのすべての位置で露光が行なわれ、定着されていない物質が洗い落とされると、像再生の精密と均一性について像の検査が可能となる。統計的な基礎の上に、いろいろな像の性質を調べるのには一般に

光学顕微鏡が利用される。検査は、線幅あるいは他の特性の自動あるいは手動測定を含む作業の組合せの一つあるいはそれ以上より成るであろうが、これらの作業のすべてには像の正確でかつ高解像の拡大が必要である。

実際に利用するもっと高い解像の光結像方式を作るという問題はすでに限界に近づいたことであると思われる。もっと複雑な多数枚のレンズシステムをもってしても、そのような限界が最終的に乗り越えられないとわかるかどうかは今後に残っている。しかし、光結像システムを設計と生産での束縛から解放できるような大幅に異なるアプローチが必要となったように思える。その束縛は光学設計の方程式に含まれる多くの高次の項をうまくまとめるに際し本来的に課されている。何年か前に、レンズシステムに特別な性質の非球面エレメントが入れられるべきだという提案によって、この方向での試行的な動きがあった。これらの提案は宮本健郎 (Kenro Miyamoto) が書いた“位相フレネル・レンズ”というタイトルの論文

で一番よく述べられている。これは米国光学協会 (Optical Society of America) の1980年11月での学会で発表され、またその後すぐに、ジャーナル・オブ・ザ・オブティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ (Journal of the Optical Society of America), 1981年1月, 17~20ページに掲載。宮本はまたその論文で理念的に同類の以前の論文を参照している。彼が基本的に提案したのは、“位相フレネル・レンズ”を、例えば、球面収差を補正するように、そこを通る波面を変形させるべく、光学システムの瞳面に置くということである。彼の提案は全く一般的なものであり、高い透過率、半導体工業のニーズにアプローチするような高い解像、あるいは適当な焦点深度を得るというような問題に対しては何の考慮も払われていなかった。一つの例をあげると、宮本は0.83ミリメートルの最小半径寸法を持つ単層薄膜リングの利用を提案した。もっと精密システム、すなわち、ブレース型透過グレーティングを作るのに関わる困難に関しては言及していない。

宮本は次の量だけ波面を変形させるべく、位相フレネル・レンズを作ることができると述べている。

$$\phi(u, v) = (k-1)\lambda$$

ここで、 $k=1, 2, \dots, m$ で、すべてのゾーンで変形の量が入より小さい。これはいろいろの軸帯に (単層) 薄膜をつけることによって実現される。そして、彼はこのように変形された波面は波面を $\phi(u, v)$ の量で変形させるレンズと“まったく等価”であると述べている。

彼の方程式は完全なブレース位相グレーティングを既述し、しかも単層薄膜を用いると言う彼の方法の既述は、また“位相反転ゾーン・ブレード”とも呼べる一値的な位相グレーティングの創作に導く。このタイプのグレーティングはただ位相遅延の二つの値の間での交番を与えるようにはたらくだけである。

“ゾーン・プレートと移動ゾーン・プレートの効率”という論文 (Applied Optics, Nov. 1987, pp. 2011-2013) の中で Melvin H. Horman により

特開平2-1109 (14)

位相反転ゾーン・プレートは研究されている。

Hornean はゾーン・プレートあるいは位相プレートの効率を「照明光波面における光束の主像 (principal images) に到達するパーセンテージ」として定義し、そしてこの定義を用いて彼は位相反転ゾーン・プレートの1次効率40.5%を与えた。

Hornean は、もし位相フレネル・レンズができたとしたならその効率が100%に近づくだろうことを示した。しかし、この間、よく補正された光学系と一緒に高効率の位相フレネル・レンズの製作は明らかにまだ試みられておらず、また報告もされていない。マイクロレンズとして独立に用いられる三角系プロファイルのプレートがある応用に対しては作られている。

宮本の提案はレンズ設計に対しより大きな自由度を与えるものと認められるが、文献から知る限り、それはまだ実施されていない。これは、導かれる利益に関して考えられている制限、書かれている形での位相フレネル・レンズ製作のむずかしさ、屈折光学素子だけを利用する光学設計での他

の進歩、問題に固有なより更に複雑な要因に対する認識の不足といった理由のいくつかによるものである。例えば、グレーティングのブレース角で入射した光の平行成分と垂直成分の間での効率には相当の違いがあり得る。また、宮本は、個々のスペクトル成分の時間コヒーレンスが位相フレネル・レンズの解像あるいは空間・バンド積 (space-bandwidth product) を維持する面で重要な役割をはたすことを認識、少なくとも議論することをしなかった。この後は、波面収差の操作に於いて波面の成分分布、照明エネルギーの正確な分布、位相関係の局所的、時間的、空間的な再配列等の要素をうまく考慮することにより、屈折レンズと一緒に組み込んだ形で、光結像あるいは光読み出しシステムの解像を有用な焦点深度、高い効率と共に、以前は達成できないと考えられていたレベル以上に向上させ得るということが示される。

位相グレーティングと光学屈折素子を組み合わせることにより達成される高解像光結像または読み

出しが依拠する原則と同じ原則が他の光学応用にも利用できる。この応用には、顕微鏡検査とOTF (光学的伝達関数)、球面对物レンズと組み合わせた円すいアキシコン位相グレーティング、従来の円柱レンズと組み合わせた円柱形位相グレーティング、そしてトロイダル非球面グレーティング・レンズを含む。円すいアキシコン位相グレーティングは光学屈折素子と組合せに於いて、特に有用であり、オート・フォーカス・システムを要せず、光ディスクを書き込み及び読み出し素子として所望の長さの狭い光線を提供する。システム設計に於いて、位相プレートの特有なスペクトル特性が認められ説明されるならば、屈折光学系の限界がどこで来ようとも、波面収差を精密に補正する能力というのは、いいかえると、潜在的な有用性となり得る。

(発明の概要)

本発明によるシステムと方法では屈折光学系の配列の中に、少なくとも1つの、ホログラフィックに場所的に配置された透過グレーティング素子

が置かれ、この素子の1つは一般に、臨界開口 (critical aperture) にある。グレーティング素子と他の素子は、増加的に変化する位相遅れを起こすよう多数に分布した空間的インコヒーレント、時間的コヒーレントな光源により単色で照明される。これらの増加的な変動は照明フィールド全体にわたり制御された形で非線形的に変わり、ある特定の収差を補正する合成波面を形成する。光学結像システムでは、補正は屈折光学系に於ける予定された球面収差のためだけでなく、予定されたクロマティズム (chromatism/色収差) のためでもある。波面の遅延は波長の何分の一かの増分ずつ変化し、高回折効率を与える、複数のブラトーにより定められた部分よりなる透過グレーティングにより生じる。その部分の場所的な構成は、相互に関連した多くの瞳を作るよう波面成分の相互作用を変えるため、位相反転、透過率変化を含むこともある。この相互に関連した瞳の合成の効果として、例えば焦点深度の増大、コントラスト、解像の改善が考えられる。

特開平2-1109 (15)

結像システムの一つの一般的な例に於いて、単色光光源、拡大されたビーム領域全体でビームを一樣に分布させる手段、空間的コヒーレンスを効果的に取り除き、ある決められた最小以上の光波の時間的コヒーレンスを形成する手段を含む一つの照明系が用いられる。この例での位相プレートは一つの透過素子を含む。この素子は多数の同心リングがあり、おのおののリングは波長の何分の1かの増分ずつ変わる複数ブラトーがあつて、リングのブラトーは局部波面に小さい角度の曲げを与える。位相プレートは屈折光学系の臨界開口(critical aperture)に配置され、設計は位相プレートと統合されて行なわれるため、手順が簡単になる。例えば、屈折光学系はコリメーターレンズ部分と対物レンズ部分を含むことになるが、標準的には、そのシステムに対し、わかっているがしかし全体としての制限内にある許容できる収差しかもたないよう相対的に少ない素子板で設計される。位相プレートはマイクロリングラフイー技術によって、各個のリング内で連続的にブラトー

の高さが変わる形で半径の変わるリングを与えるように作られる。這うリング・グループでのブラトーの段の関係を変えることにより、位相プレートの異なる区分を通る光波の位相関係がいくつかの瞳を形成させるように選択的に反転される。一部分のリングあるいはリング・グループはある領域から来た光が遮蔽あるいは減衰されるように、不透明あるいは部分透過(opaque)であってもよい。こうすると、複数光源からの照明光の空間的分布と位相関係は屈折光学系に於いてはやむを得なかった収差を打ち消すように、再び構成される。このシステムと方法によって1ミリメートルあたり2,500本のオーダーでの解像、高い透過率、深い焦点深度、そしてすぐれたコントラストが得られる。このシステムに利用される屈折光学系は大幅に少ない素子数しか要求しないだけでなく、また球面収差と色収差のような特殊な特性に対して、設計手順にもっと大きい許容度を持たせることができる。

高いビーム強度、強度分布の均一性及び色消し

を得るのに半導体製造に対してはパルス・レーザが好ましい照明光源である。しかし、強度分布、フィルタリング及び色収差(chromatism)の問題を克服するための従来の方法と組み合わせて水銀アーク・システムのような他の光源を利用することもできる。

この発明の更なる特徴によれば、ある一つの例として照明系は、248nmのような紫外線領域で動作するエキシマレーザとエタロン同調キャビティの組み合わせを含む。これは50,000の波を越す時間的コヒーレンスがある光エネルギーのバーストを与えるものである。照明光エネルギーのバーストは一对の離れて配置されたランダム位相板と、中間のビームシフト装置を含み、フォトマスクあるいは物体面上に統計的に均一な形で空間的インコヒーレントな複数光源を分布させる位相ランダムイザーを通過する。

1次光の高い透過率を保ちつつ、3°のオーダーの光線の曲がりを与えるように構成される。一つの好適な構成としては、位相プレートの一区

分内でブラトーの連なりの選択的反転により実現されて、互いに位相の反転する部分により定められる8つの(円)帯状の瞳を含む。一つのシステムには一つ以上の位相プレートが配置でき、一つは臨界開口(critical aperture)に配置され、その他は特定の非球面的特性を与えるよう、ビーム通路に隣接される。248nmの光源を用いる時には、位相プレートのブラトー領域の最大厚みは約0.144ミクロンに制限され、各個ブラトーは、最も狭いリングのところでわずか1.5ミクロンのオーダーの幅となる。波面(Wavelets)での時間的コヒーレンスは複数ブラトー領域によって生じる最大位相遅れより50倍かそれ以上の大きさで維持される。

この発明に沿ういくつかの異なったシステムにより、この概念の汎用性が示される。例えば、顕微鏡システムに置いて照明系から被検物へ向かう光は、臨界開口(critical aperture)の所に置かれ、被検試料上のカバープレートにより生じる球面収差と共に、システム内の屈折素子による収差

特開平2-1109 (16)

を補正する位相板を用いて、従来以上の高い解像で結像される。アキシコンタイプのシステムでは、発明による位相プレートは、表面波を円すい形焦点にもって来るべく、一つかあるいはそれ以上の球面素子と一緒に作用するように形成される。収束波は光軸に沿って、アキシコンの設計の特色をなす比較的長い針状の光を作る。円柱レンズ・システムでも、もっと高い解像と精度のために、波面補正が同心プラトーではなく、平行プラトーによって行なわれる。

更に、位相プレートが有利なのは、分離した光屈曲グレーティングを定める同心円リングの外側輪状領域及び基準パターンを含められることである。結像の波長と異なる波長（例えば赤の波長）のコヒーレントな光は感光性表面に影響を与えずに目標面と投影像とのアライメントに用いられる異なった部分つまりこの外側輪状領域を通過できる。

本発明による位相プレートは、所定の特性のリング・パターンを与えるため、二値的な操作を続

用いられる外側環状リングも同様に結像領域のリングと同時に位相マスクから記録されるか、あるいは直接で形成される。しかし、波長とそれに伴い要求される層の厚みが違うため外部リングは別々にデポジットされる。

0 から 18 分の 15 波長までの光学位相遅延を起こすように一連の 0 から 15 レベルまでのレベルを与えるため、4 つの二値的マスクを用い、一連の 18 のプラトー高さを作ることによって、グレーティングの上にもう少しなめらかな、そしてもっと効率の高いブレース角が形成できる。同じように、ただ 4 つのプラトー・レベルを用いれば、特定の応用に対し粗い、効率の低いグレーティングが、かわりに形成できる。

別の回折または反射リングの組が都合よく位相プレート上に配列される。この目的のために、この素子は始めに少なくとも一定の領域に 1 つのベース（例えば、クロム）層がおおわれる。リングは回転させながら描くことによりあるいはフォトエッチング技術により定められる。

けて配列されるのが好ましいが、デポジションまたはエッチングの各々の段階に対しフォトマスクを用いるかまたは直接により作られる。例えば、1、2、そして 4 のプラトー高さに対しデポジション層を定めるべく 3 回の一連の手順が利用でき、フォトレジストの洗い流し、塗布を 3 回行う一連の工程により、堆積的に零から 7 番目のレベルまでの一連のプラトーを与えることができる。各々のデポジション工程に、例えば、予め決められているリングの半径の変化に対し、波長の何分の 1 かの違いだけ高純度シリカを付加することもある。このように直径が 10 cm オーダーでの素子の上に、1 つが 8 つのプラトー・レベルを持つリングが約 1,800 個ある一つの位相プレートが作られる。この寸法は、近年の半導体製造に要求される大きいウェーハと高い解像をもたらす現在のウェーハステッパ（stepper）装置に必要な範囲にある。相補的な工程、即ち、層のデポジションのかわりにエッチングを用いることもできる。

アライメント用に、第 2 の波長の光源について

リングのある 1 組は、レンズの中心出しと間隔出しのグレーティングのいくつかのグループを形成する。これらのグレーティングは異なった個々のレンズ素子あるいはレンズ素子群に関して設けられ、特別に配置される。

コメントされた光線が臨界開口 (critical aperture) にあるグレーティングを通過して導かれ、選ばれたレンズ群内のレンズ素子が適当な位置に置かれた時、これらのグレーティングは光軸上に集束ビームを与える。従って、個々のレンズの芯と光軸上位置は、それが組み込まれる際、正確な規準を与えられることになる。

第 2 組の反射リングは、始めに、後に続くパターンの中心として働くことになる名目の軸と同心の外側周辺の組 (grouping) として描かれる。分離したトラックが回転システムに於いて位相プレート製作の間、直接描かれている時は、このリング組はフォトマスクに対する、あるいは位相プレートの偏心の補償のための、基準としてはたらく。

特開平2-1109 (17)

サブ・ミクロンの解像を得るために位相プレートの上に多重ブライトを配置することに関して要求される精度は、どんな書き込み技術が用いられようと非常にきびしい要求を課する。これらの要求は中心の近くに第3の反射リングの組を生成し、位相プレート自身を利用することにより満たされる。回転の中心は始めは、限度内で任意に選ばれるが、反射リングを書き込んだ後に、その位置は正確に決められる。これは、各々の反射リングが通過する時、干渉計による（干渉）読測定を行いつつ中心線の両側でリングを走査することによりなされる。同じように内側リングと外側リングを利用することにより、名目上の位置の間でのしめの数から正確な読みを得ることもできる。これらの読みから、その時点に於ける温度、気圧、光速の正確な補正を用いて校正ができ、それにより、リングを $1/30$ ミクロンのオーダーの精度で配置できる。

この発明による、際立って有効な直描システムはベース上の空気軸受にささえられたエアースピ

ndルを用いる。単一（往復）方向的に移動できる架台が、書き込みレーザービーム用として、制御システムにより、スピンドルに対し、別トラックの書き込み位置まで移動する。

スピンドルに隣接して設置された偏心センサー・システムが外側基準リングの像を一つのパターンの上に投影し、そして位相プレートが正確に中心に置かれていない時、合成信号中の正弦波状変化を感知する。回転中の芯ずれによる変動を補償するよう、レーザー書き込みビームを偏向させるのに信号変動が利用される。周辺で保持される位相プレートは目視で一ミクロンの範囲内に調節することができ、偏心の補正はこれを 0.1 ミクロンあるいはそれ以下にまで減ずる。このシステムは、特定のレンズ組み立て品に対し補正を行うように位相プレートを作り得るその精度を、従来のコンタクト転写工程の精度を超えるところまで、向上させる。また、これは、大きな中心出し誤差や累積誤差を生じさせることなくフォトレジスト塗布、処理、そしてデポジションまたはエツ

チングを行うのは、位相プレートをエアースピンドルの上に置いたり、そこから取ったりできるようにするためでもある。

（実施例）

第1図の、概略的な一般化した表記は、尺度と比率に於いて違いがあるため、システムの大きな要素と、システム内に於ける光波エネルギーの細かな分布及びその空間的配置とを共には、表わし得ていない。他の図も正しい比率で相対的な寸法を表わせていないが、その特徴と関係をよりよく理解するためには、それら他の図を参照しなければならない。

本システムは、極めて微細な非常に高い解像の像となるべく、フォトレジストを適当に照明するため、ウェーハステッパーのような光結像ユニットに用いるのに好適な形で説明される。ウェーハステッパーの制御、位置決め、オートフォーカス、及び関連技術の詳細は公知であり、簡単のために、ここではそれらに触れない。ある特性のエネルギー源となる光が、紫外領域の 248nm でおよ

そガウシアン分布の矩形ビームを生成する KrF タイプのエキシマーレーザー 12 を含む照明素 10 で初め生成される。エキシマー・レーザー 12 は一秒に約 150 パルス、パルス幅が 1.2×10^{-8} 秒、そして約 375mJ /パルスでパルス発光する。これから示されるように、このシステムは十分な強度の放射光を、像を記録するフォトレジスト層へ導き、また、本光結像システムが十分高効率であるため、有益なことに短時間で露光できる。これから列挙する、いろんな要素を適当に考慮すれば、他にも利用できるシステムは多くあるが、このタイプの好適なレーザーが、Lumonics Hyperex-450 Model HE-SM として出されている。

レーザー 12 から出るビームはかなりの程度空間的にコヒーレントであり、 820 分の1の程度で時間的にコヒーレントである。このファクターは所望の空間的な及び時間的な分布と一致しない。したがって、レーザー 12 は一般にエタロン 14 と言われる一つの共振器調キャビティと一緒に はたらく。このエタロン 14 は Q 値と、

特開平2-1109 (18)

124,000波長分ぐらいまで合う光の波連の予期性(Predictability)を上げる。あるいは代わりに、同程度の時間的コヒーレンスを生じさせるのに、キャビティ内エタロン同調のあるレーザーを使ってもよい。しかし、干渉縞の影響が出る可能性があるので、過ぎた同調は好ましくない。従ってエタロン14は時間的コヒーレンスを10,000波長分の程度の範囲まで下げるため、わずかに離調される。このような手直しの理由は後程より詳しく説明する。

ビームはレーザー12から出た後エキシマー・レーザー12の長形ビームを一辺が1" (1インチ)の正方形ビームに変える二重プリズム・ビーム・エキスパンダで拡大される。このビームは、SiO₂基板の上にデポジットされSiO₂の準ランダム・パターンで定められる一番目の準ランダム位相面19を含む空間コヒーレンスランダムマイザー(randomizer)18の中に入る。このランダムマイザー18の構造は断面領域に亘って位相のランダム化の度合いを知らせる光透過素子を提供する。

第二の準ランダム位相表面27はより一層のランダム化を行い、すべてのビーム分布領域で空間的な位相のランダム性を有効的に増す。しかし、ランダム性の度合いを変えられることが望ましく、このために、サバール板とソレイユ補償板を用いた部分的コヒーレンス度の測定装置がランダムマイザー(randomizer)18からのビームのこの特性を検知するため置かれる。そのような装置は"準単色光源の像に於けるコヒーレンス度(S.Mallick, Applied Optics, Vol.6, No.8, August 1967, pp.1403-1405)"と題された論文での報告に従って用意できる。装置36は部分的コヒーレンス度に応じた信号を可動コーナー鏡24と結合されたPZTアクチュエータ34を動かす制御回路38に送る。測定装置38による部分的コヒーレンスのコントラストの読みによって、アクチュエータ制御38はPZTアクチュエータ34を駆動し、レーザー12から出たパルス・発光の間で、像での小ささが可変的な(60ミクロン程度の)動きの増分を起こす。これらの発光は一秒に

このような準ランダム位相面は、平均厚さ約1ミクロン、平均幅約10ミクロンのデポジットされたパターンによって得られる。第1のフィールド・レンズ20はビームを必要ならモータ駆動もできるレチクルマスキング装置22に伝える。マスキング装置22はビームを周辺で、制御可能な大きさの選べる物体面外形に制限し、ビームは以下に記すように小さな弧状に動的に動かされる可動コーナー鏡24へと向かう。このコーナー鏡24からビームは結像リレー・レンズ28の方に向けられる。このリレー・レンズは第一の準ランダム表面19の像を似た特性をもつ第二の準ランダム位相表面27に結像する。その後、ビームは第二のフィールド・レンズ29を含む関連光学系に向かい、ビーム結合コーナー鏡28を経由し、そして像が向けられるウェーハ平面に行く。この角度のついたビーム経路により、かなりのパワーと体積を必要とするレーザー12を、システムの像形成部分より十分離れたところに置くことが可能になる。

150-200回起り、(1パルスの発光)時間が短いため、またコーナー鏡24は非常に小さな角度で動けばよいので、異なった発光源からの光を適当に空間的ランダム化することは、必要な範囲まで、かつ可能な間隔内で、直ちにできる。

他の例として、第一の面19を回転ディスクの一部分として形成し、得られるランダム性の度合いを変えるために回転速度を少し変えることによって、準ランダム位相面19、27の間での相対的な動きを作ることにも可能である。

結像リレー・レンズ28と第二のフィールド・レンズ29も1:1の関係でレチクルマスキング装置22をフォトマスク平面40に配置されたフォトマスク40の上に結像する。この例に於いて、この平面でのビームはレチクルマスキング装置22によって、適当な厳しさの許容誤差(± 0.005 ")で、一辺が1.5インチから4.5インチまで連続的に選択できる矩形に開口が制限される。

空間的コヒーレンスのランダムマイザー

特開平2-1109 (19)

(randomizer) 18の重要性は、それがビームの平均ラグランジュ積を増加させるということからより明解に理解できる。エキシマレーザー12から出たレーザー・ビームは約 $1.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ ster}$ に制限されたラグランジュ積を持つ。これは一つの典型的な露光(約0.3秒)で、狭帯域化されたエキシマ・レーザー・ビーム中に多くの光源があることを示す。いずれの間隔でもレーザから出てくる 22×5.4122 のオーダーでの統計的にインコヒーレントな空間モードがあることを示すことができる。また、一つのパルスに20の波連、0.3秒毎に150パルスがある。従って、レーザーは、露光毎に $1.22 \times 10^3 \times 2 \times 10 \times 1.5 \times 10^2 = 3.66 \times 10^5$ の統計的に独立な光源を提供する。しかし、光源が、所望の空間的なインコヒーレンス度で像を照明するためには、像の各点は約 10^2 個の光源で照明されなければいけない。ウェーハ面の像の寸法でミリ当たり約4,000本の解像ということから導かれる必要な全部の光源の数はおよそ

を予めセットしておくだけで普通十分である。空間的コヒーレンス長の調整範囲は、フォトマスク40にて、約1.5ミクロン、これは実質的にインコヒーレント光であることを示すが、この値が約15ミクロンまでとできる。

その結果、光波エネルギーはウェーハ面で測って±1%の一樣強度で4インチ×4インチ(4"×4")のアスク平面に分布し、その振幅は±1%の範囲で調節できる。露光時間0.3秒で供給される所与のエキシマからの全エネルギーはウェーハにて 150 mJ/cm^2 より大きくなる。

しかし、所望の度合いまで空間的コヒーレンスをランダム化することは時間的コヒーレンスまたはこの統計的に異なる複数の光源における各々の光波の周期的予期性(predictability)に影響を与えることはできない。位相プレートにより合成波面中に繞いて生じる位相の遅れはビームの分布全体に渡り変化し、可能な遅れ量は相当に大きい時間的コヒーレンスは、その大きさのオーダーが、波面が正確に再構成されるために可能な遅れより

$$10^5 \times 10^3 / (1.75)^2 \times 10^3 = 3.27 \times 10^{11}$$

これが露光毎に必要な統計的に独立な光源の全数である。レーザー・ビームは従って、一様にしかも空間的にはインコヒーレントに照明された像を形成するためには約 5×10^4 分だけ足りない。フォトマスクを通り結像レンズへの入射円錐光束内ビームのラグランジュ積は約次の通りのはずである。

$$2.56 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ ster}$$

第一及び第二の準ランダム位相面19, 27の各々は像の大きさ全体にわたり主光線の高さに実質的に影響せず、約 2.2×10^2 分だけビームの角発散(angular divergence)を散乱させる。これは、システムにとって望ましい 5×10^4 分の全体の増加に結びつく。ラグランジュ積は従って 5×10^4 分まで調節できる。この調節は自動的に行なうこともできるが、選んだ境界内の値に維持するために、ある特定の像の大きさと露光特性に対して、操作者が部分的コヒーレンス度測定装置36から得られた読みに従ってアクチュエータ制御

大きくなるよう維持されなければいけない。また、この例で、多くの位相遅れの増加的变化(100波程度)がある。これらの位相調節を適当に行うために要求される時間的コヒーレンスはそのシステムで予定している遅れの最大な波の数の約50倍である。エタロン同調レーザーはコヒーレントな1つの波連内に124,000の波(の数)を与え、この位相調節手段に要求される約25倍ぐらいとなるが、このファクターは時間的に独立な光源の最大可能な数を与えるのに反するよう作用される。これらのことは時間的コヒーレンスを約5,000波まで減らすことにより確かめられるが、しかし、逆にこれはレンズ設計で色収差問題を引き起こす。従って、このファクターは10,000から約100,000に維持するのが望ましく、前者の値がこの例では仮定されている。レーザー露光制御44によって、1回の露光でウェーハ面に入射する光の量を選択的に決めることができる。このレーザー露光制御はレーザーが連続的に発光している間引き出されるエネルギーを統合し、適量の

特開平2-1109 (20)

エネルギーが供給されたら、露光を停止する。以下に説明するアラインメント・システム46は光軸に沿って独立にはたらき、第7図と一緒に以下に説明するように、紫外以外の波長が遠く環状ビーム（典型的な赤あるいは青）の向きをビーム結合鏡28及びいろいろ光学素子に向ける。

図では一般的に示しているが、フォトマスク面42とウェーハステップメカニズム54のXY軸駆動システムにより、レジストをコートしたウェーハ52を正確に位置決めしたウェーハ面50の間に結合光学システム58が配置される。光学システム58は屈折素子と発明のいくつかの特徴を具現しているホログラフィックな波面の調節手段の組み合わせを含む。図示した配列では、システムはコリメーター・レンズ群58を形成する一組みの三枚の屈折レンズ素子、レンズ・システムの臨界開口(critical aperture)に置いた一つの複数ブラトー位相プレート80、そして5分の1に縮小した像をウェーハ面50に投影する4枚のレンズの対物レンズ群82より成る。レンズ群58、

光路差約75波に制限される。位相プレート80の対物側素子について3枚は近似的にアブリナティックな群として設計され、四番目は像面に一番近い負のメニスカスであり、像面を平坦化する性質があるためよく用いられる。コリメーター群58の3枚のレンズは累積的に、また位相プレートと組み合わせさせて、システムのコマと非無収差をなくすことに大きな役割をになっている。更に、球面石英レンズは負の色分散があり、本発明の一つの特徴は位相プレート80に示される透過グレーティングが少し正のベースのパワーの曲率のベンディング効果を起こすことである。この曲率は色消し条件を作るため小さなレーザ・バンド幅範囲でのグレーティングの色分散が球面石英レンズの色分散に十分適合して打ち消すように選ばれる。このベースの球面のパワーはスケールファクターが非常に小さいので、図示できない。

照明系10からの光波エネルギーは実質的には単色と言えるが、しかし、エキシマー・レーザー12のようななどの様な光源にもバンド幅あるいは

82そして複数ブラトー位相プレート80の相互の関係は屈折素子の数を減らしつつ屈折レンズの設計を簡単にする、また、解像だけでなく、焦点深度コントラスト及び効率に寄与する波面の調節の高い効果を得ることを共に考慮し決められる。そのレンズ集合体は球面の石英素子を含み、位相プレート80は、新しい合成波面を与えるため像の成分を領域的に調節する波面の位相遅延及び再配向システムを含む統合光学システム58は像面側でテラセントリックで、位相プレート80及び臨界開口(critical aperture)での放射束は正確には平行でなく、若干発散している。石英の素子は、球面収差多項式(の分)を除き、いかなる程度のすべての収差成分が、球面素子によって半径、位置、面項間厚さ、間隔として与えられる自由度を利用し打ち消されるように、また、位相プレートにより臨界開口(critical aperture)で起き半径方向で変化する位相遅れも考慮して設計される。球面収差はしかし、位相プレートの半径方向に変化する位相遅れにより完全に補正される

色の拡がりがある。もしこのバンド幅を極度に狭くすると、それは得られる光のエネルギーを減らし、空間的コヒーレンスの問題を増す。本システムにより提供される色消し作用の能力はエキシマー・レーザー12の0.003nmから0.02nmまでの色の広がり範囲を0.03nmあるいはそれ以上に広くすることを可能にする。従って照明系は実質的に単色でなければならないが、システムとしての得られる付随的利点を伴いつつ、いくらかの色の広がりも補償できる。

位相プレート80の中止部分に隣接し、第2-4図を参照しつつこれから説明する内側基準リングの外から始まる一つの領域は、位相プレート基板84にデポジション又はエッチングにより極めて低い最大高さでマイクロリングラフイー的に起伏をつけられた面を含む。起伏をつけられた面は多数のリング88の形で構成され、各々のリングは増加する高さが正確に決められたデポジションされるSiO₂の細密な複数ブラトーまたはリングを含む。代表的なリング88はその半径位置と非

特開平2-1109 (21)

線性的な関係がある半径方向の寸法を持ち、高さ零から最大 $7/8$ 波長の高さまで $1/8$ 波長毎に光学的遅延を増加させる 8 つのプラトー 70 レベルがある。第 2-6 図における位相プレート 60 の図でその関係の概略を示す。図 4 から分かるように、各々のリング 88 で、プラトー 70 は代表的には（基板 64 に対して）高さ零から連続的なステップで最大 $7/8$ 波の高さまで累進的に変わる。248 nm の波長で、 $1/8$ のプラトーの高さは約 31 nm で、 $7/8$ の高さは約 217 nm である。リング 88 の半径方向の最も狭い幅は（位相プレート 60 の外縁で）8 ミクロンのオーダーであり、各々のプラトーの半径方向の最小寸法はおよそ 1 ミクロンとなりリング 88 に占められる半径方向の寸法が変わるので、含まれるプラトー 70 により決められる合成的起伏の傾きが変わる。ここでは一番急な場合を示している。傾きは 3.59° 以上であり、波面の曲がり約 2° である。最大の波面の曲がりはこのタイプのブレースド・グレーティングを通る光エネルギーの効率率

の透過を達成するため波面の曲がり約 5° に制限される。プレート上のトラックの高さの差分は、最大で入射単色光の波長を、その選んだ波長で、プレートの屈折率で割った割合に比例する。

各々 8 つのプラトーのリングが約 200 あるが、これらは規則的に続くわけではない。導入される位相遅れの位相が反転する 8 つの別個のグループ（80～85）内で連続的なリングが配列される。一連のグループ（80～85）はその位相が 0, π , 0, π , 0, π といった形で変わるように配列されている。この例では、これらの円帯の相対半径が次の表で示したように決められる。

円帯境界の半径	位 相
. 99 ~ . 80	0
. 80 ~ . 65	π
. 65 ~ . 40	0
. 40 ~ . 30	π
. 30 ~ . 20	0

. 20 ~ . 0 π

細かく分けられたリング 88 と細密に分けられたプラトー 70 のある複数プラトーの位相プレート 60 が介在することにより、波面に沿って空間的に分布した形で、開口半径の関数として、増加して波長と関係した光路長が付け加われる。位相プレート 60 の厚さの差分は非常に小さくこの例では遅れは $7/8$ 波長あるいは約 217 nm より大きくはならない。しかし、光源が実質的に単色であるので、位相基準に対して波面を揃えることで解像は維持される。従って第 3 図から分かるように、その効果照明単色光により形成される合成波面の累積的遅延による。第 4 図から分かるように、屈折光学素子が合成波面を曲げる場合も、位相は揃ったまま維持される。しかし、位相プレート 60 が後に続く屈折光学系での収差を前もって補償することと、その様な補償は第 3 図と第 4 図で示していないということは注意すべきである。

位相プレート 60 はより特定のにはブラッグ条

件 (regime) で作用するホログラフィックな素子として屈折素子と組み合わせられた形で非球面としてその両方で機能する。非球面特性の結果として、屈折光学系の設計では許される範囲の残存球面収差が波面全体に渡り、必要な（部分）量だけ補償され、それと同時に、他の幾何光学的収差と色収差も打ち消される。臨界開口 (critical aperture) で向けられる複数の点光源は独立な波面成分として再配向されるので、位相プレート 60 の区分（80～85）も独特の形で光を映面内に再分布させる。位相プレート 60 内の個々の位相反転は、数多くの有益な効果を伴う共同的な結像を可能とするシステム内に複数の瞳を定めることになる。

この分野に熟知した人なら、プラトーの数をこの例で与えられた 8 つから変えてもよいということも理解するであろう。規則的な一続き (progression) において $1/16$ 毎に変わるプラトーを 16 個用いると、製造の時間と問題が増大するが、ブレース角をより滑らかにし、また、より効

特開平2-1109 (22)

率的にできる。

この場合でも既に記した様に累積的に二値的な一連の方法手順を行うことによりこれらのレベルは実現できる。逆に、ある応用に対して許容できるなら結果としていくらか粗くて効率の低いグレーティングとなるが、もっと少ない数（例えば4）のレベルを用いることもできる。

この光学システム設計で求められる主要な特徴は解像の増大、サイドバンド強度の減少及び焦点深度の増大であり、これらすべてが複数の瞳を定めるリング88の配置を利用することによって向上される。第5図と第6図から分かるように π の位相反転が必要な所ではプラトー70の規則的な連続性は位相ステップ88の外側で中断される。その後、プラトー70は次の中断が起こるまで零から七番目までの順で継続的に変わる。別々の瞳からのビーム成分が再結合され、合成波面を形成する時、別々の瞳からの像の微妙なずれがすべてのあるいは多くの注目すべきファクターが向上するのを可能とする。数多くの円帯の組み合わせを解

差バランスさせるのにかなり大きな設計自由度を与える。

Hopkinsが“収差の波動理論” (“Wave Theory of Aberration”, Clarendon Press, 1950, pp. 50)で議論しているように、光路差は多項式として解析でき、この光路差は物体上の一点 h を出て、

半径が ρ 、子午角が ϕ で異なる点を通過する光線の任意の組の間で、瞳あるいは臨界開口 (critical aperture) に於いて $\rho = 0$ で h から出る主光線の光路とを比較して取られる。展開の後、多項式のそれぞれの項は、 ρ だけ含む項（システムの球面収差を表す級数）、 ρ と h だけ含む項（それを“球面型収差”と見なしてもよい）、そして、 h 、 ρ 及び $\frac{\cos \phi}{\cos \phi}$ のあるべき乗の項に分けられる。 ρ と h だけを含む項は像面湾曲（収差）と関係があり、 h 、 ρ 及び $\frac{\cos \phi}{\cos \phi}$ を含む項はコマと非点の収差を含む。

臨界開口 (critical aperture) に置かれた位相プレートはそれぞれの光線に対して半径と光線が

像、焦点深度あるいはコントラストを強化するために採用できるということが認識されるであろうが2つ、3つ、そして4つといった半径の異なる配置の π 位相反転が特定の応用には有益的だということがわかっている。図に示すようにこれを6つ（80-85）にするのがウエーハステッパへの応用には望ましい。それはこれらの複数の瞳が、コントラストを維持しながら、焦点深度を増加させ、これらファクターは半導体製造工程で極めて重要だからである。それに加えて、完全な (unobstructed) エアリー・レンズ以上に解像を上げることにも実現される。

位相プレート80を通過して伝搬するビームの波面の再分布は完全不透明あるいは部分透過の環状リングあるいはリング配置を用いて行うこともできる。レンズ・システムの設計解析で性能を限定するビーム成分を打ち消すあるいは減らすために望ましいとわかった所なら、どこにでも不透明なリングを置くことができる。

光学設計について、本発明によるシステムは収

臨界開口を通過する時の角度に依存するあらかじめ決められた関数として光路の遅れを加える。球面収差は半径だけに依存する軸上の収差であるため、臨界開口で正しい高さで適当な位相遅延を起こしてやればすべてのオーダーの球面収差を完全に補正することができる。

多項式展開での全ての球面型収差の項は位相プレートによって対称的に損なわれる。レンズ設計者の役割は残っているコマの項と非点の項を、それらが相互にバランスし、またそれらの残留（収差）が位相プレートにより起こる半径方向に変化する遅延をバランスさせる所まで減らすようシステムの屈折素子を選ぶことである。

この分析に熟知した人なら、この収差のバランスは技巧的なレンズ・コンピューター・プログラムで普通は行われるが、しかし、 $\cos \phi$ の各々のべき乗成分を含む項の補正は独立して零あるいは零近くまでバランスさせられることが必要であるということを理解するであろう。位相プレートはすべてのオーダーの球面収差を潜在的には取り除

特開平2-1109 (23)

くという事実は設計手順の残りの部分を非常に簡単にし、また、かなり少ない素子(数)で解を与えるのを可能にする。

要約していえば、このシステムは予期できる(predictable)周期性と空間的なランダム性を持つ一連の時間的に変化する光波の微細構造の再配分を用いることにより動作する。エキシマー・レーザーからの連続的突発光を利用して、均等に分布した光が複数光源として、全露光の間隔にわたり、ホログラフィックな位相プレート素子上に表れる。位相プレート 80 で、効率の高い透過を保ちながら、ビーム波面での位相調節が達成される。このシステムは合成波面の全体に渡り 1/10 波よりよい精度を与える。このシステムは現在存在している線解像の限界を克服しつつ、従来使われて来たものに比べて、球面石英レンズ素子の数を減らすことを可能とする。照明ビームの限定されたバンド幅は、位相プレートの特性と相俟って球面収差と色収差との十分な補償を可能とする。

しかし非常に汎用性のあるパワーの小さい非球面レンズとして機能するように設計することもできる。その様な設計の結果、必要なガラス素子の数が減り、またその性能も改善される。位相プレートはブラッグ・グレーティングとして、中心波長が最大の効率を持つように計算される。しかし、表 1 a と表 1 b をよく調べると、所与の Hg 放射バンドの頂点から下までのトータルの広がりとは 1000 分の 2 より小さいということが分かる。従って同調は相対的に小さな問題である。

位相プレート技術を 365nm, 404nm あるいは 436nm のような時間的コヒーレンスの高い光源が得られるより従来のものに近い波長領域でのレンズ設計に応用すると、その技術は著しい簡便さをもたらす。というのは、より高次の非球面を設計の要求からだけでなく、球面素子そのままの小さいが実際にある理想からのずれを補償するために、規定できかつ正確に構成できるからである。

第 2 図と第 5 図をもう一度参照していうと、位相プレート 80 は、リング 88 により規定される

レーザー以外の光波エネルギー源も、必要な特性を持っていれば使うことができる。例えば、いくつかの水銀アーク光源の個々の発光線(line)がこの要求を容易に満足する。このことは Kevin B. urns と Kenneth B. Adams の論文("Energy Levels and Wavelengths of the Isotopes of Mercury - 198 and 200", Journal of the Optical Society of America, vol. 42, No. 10, October 1952, pp. 717 - 718)に見ることができる。その論文の、Hg199 のある線に対する線解像を示す表 2 a は必要な時間的コヒーレンスを示している。これらの線はランプ放射の 258nm のバンドも一緒に含む。従来の方法で色消し(バンド全域にわたって計算される)の問題を解決していることから、これらの線の成分のそれぞれが利用できる十分な時間的コヒーレンスを持つ光源であることがわかる。

もう一つの例をあげると、その論文の表 2 b は、365nm のバンドの Hg199 の詳細を示している。ここで、色消しの問題は従来の方法で解決されており、従って位相プレートを従来と同様の、

ブレース透過グレーティング領域の外側に分離してある多数の同心透過複素プラトーリング 88 を含む。これらのリング 88 は同じく 510 μ m から成りフェーズレンズ 80 を与えるべく、基板表面にデポジションまたはエッチングすることにより形成される。リング 88 の幅と傾きはより長い赤の波長に対して選ばれる。その波長はフォトマスク 40 により定められる像が結像されるウェーハ 52 のアラインメントに用いられるものである。従って、幅と傾きは紫外線範囲で用いられるリング 88 のものより大きくなるが、8 段階に高さが増す手法は同様に用いられる。層を 2 値的に累加したりあるいはエッチングしたりする同様の工程が用いられるが、用いられる厚みがより厚いため、リング 88 は普通にはリング 88 と別に形成しなくては行けない。

リング 88 の目的は同時に光学システム 58, 62 と組み合わさってウェーハ 52 の上にビームを集束させ、信号が基準参照アークを有するフォトマスク 40 に対するウェーハ 52 の正確な位置

特開平2-1109 (24)

を示すように発生されるようにすることである。ウェーハ52上の基準マークはただ感知されるだけでよい。

赤い波長はウェーハ52上のフォトリソスト層に影響しないため、それを紫外の照明と同時に用いることができる。ここで第7図を参照するとアラインメントのためウェーハ52上に細く集光した基準ビームを与えるためのアラインメントシステム46が示されている。

このシステムはスペクトルの赤の部分にある833nmの単色波長を持つHe-Ne(ヘリウム-ネオン)レーザーを利用する。レーザー90はガウス分布した狭い出力ビームを発生し、そのビームはビームエキスパンダ91によってもっと広いパターンに広げられる。この広がったビームは第一と第二の液浸した非球面93、94によって一つの環状パターンに変えられ、第一の非球面はリング状の分布を作り、所与の半径上に集光する収束ビームに光を形成し、一方、第2の液浸非球面94は、環状瞳パターンを形成するようビームを

実質上コリメートする。この環状瞳パターンは第一のコーナー反射器96とダイクロイック反射型の第二のコーナー反射器97で反射され、第1図のシステムの紫外ビームの光路中に入る。環状ビームは第二のフィールド・レンズ29とそれと組みあわせてレンズ95によってフォトマスク面42の上に集束し、フォトマスク40上の基準パターン領域を照明する。その後、このビームは光学システム58に入り、位相プレート60上の複数ブラトー・リング88領域を抜くような環状の瞳として再び結像され、またレンズの組58、62によってウェーハ52上に集束及び再結像され、そして反射してまた光路にもどされる。反射した赤の光の基準パターンはダイクロイックコーナー鏡97を通してアラインメント検出器98に到達する。検出器は直接と反射の基準像を比較し、必要なオーダーの精度のある既知の方法でウェーハの位置決めをするためウェーハステッパ54を制御するアラインメント信号を作る。

このように、第2-7図のシステムはウェー

ハの位置決めをするのに必要な正確な調節を可能とする非干渉的なアラインメント・システムを統合的に含む。外側のリング88は紫外用の同心リング68と同じ中心軸に対し配置できるので、同心性が保証される。

位相プレート60の上で正確に配置された同心トラックを定めるための直描システムの主要な素子が第8図に示されているが、ここではこの図を参照する。ここで位相プレート60は精度の高いエアースピンドル110の上にマウントされ、このスピンドルは安定な例えば花崗岩のベース112にある凹部111内の空気軸受により回転する。スピンドル駆動装置114は磁気式あるいは空気式のいずれであってもよいが、例えば25 rpsのような決まったレートでエアースピンドル110を回転させるように結合される。エアースピンドル110の上面に置かれる位相プレート60は、直交X、Y軸に沿って完全ではないが実際上十分な精度で位置決めされる。これはエアースピンドル110の周辺にあるポスト117から延びる高精度な調節ねじ118

による。空圧源118はベース112内の導管119を通じ、エアースレッド120に対してエアースピンドル110の中心軸の垂直位置と水平芯位置の両方を保つよう圧縮空気を送り出す。しかし、見て分かるように、中心軸に対して位相プレート60の位置を決めるのに芯出しシャフトあるいは他の機構は使われていない。エアースピンドル110の上部に隣接したエアースレッド120はエアースレッド120の下に突き出る空気軸受式フットパッド(foot pads) 121と水平に伸びる空気軸受式サイド・パッド(side pads) 122に乗ってスピンドル110に対して横方向に動かすことができる。フットパッド121はグラナイト(花崗岩)ベース112の上面基準面の上で浮上させる形でエアースレッド120を支え、一方サイド・パッド122はグラナイトベース112の垂直延長部128(又は、ベース112との垂直サイド固定された関係の分離した部位)の水垂側面基準壁125からの小さな距離を一定に保つ。エアースレッド120をブロック128上で垂直基準面の方向に機械的に偏位させる方法は

特開平2-1109 (25)

示されていないが、空圧源あるいはサーボ機構を含むことになるかも知れない。側面でのこの空気軸受は、従ってエアースレッド120が壁125に平行な方向あるいは位相プレート60に対して半径方向に動くことができても、側壁125からの距離は正確に維持される。空気軸受に加圧する内部の導管は詳しくは示されていない。

エアースレッド120は、高剛性なステンレス鋼構造の、エアースレッド120と結合されたバー132につながるアクチュエータ130によってブロック128の垂直基準面に平行な方向で位置決めできる。バー132のアクチュエータ130によるこの軸に沿った移動は位相プレート60の半径方向位置とエアースレッド120の上に設けられた偏向システムからの書き込みビームの半径方向位置を変えるが、これについて以下詳しく述べる。位相プレート60の概略の位置決め制御のため、エアースレッド120上のレトロ反射器134はレーザー・ビームを干渉計（ヒューレット・パッカード社モデル5110でもよい）136に戻す。この干渉

計136とアクチュエータ130を制御するガイド位置決めサーボ138で、エアースレッド120とエアースピンドル110の位置を常に1ミクロン以下に維持することができる。位相プレート60上でのトラックの位置は、磁気あるいは光データディスク用のマスタートラック書き込みシステムの形状の、コンピュータ146とデータ収納部148を含んだトラックデータ収納及びシーケンスシステムにより定められる。

データ収納部148は正確なトラック位置、トラック幅及びトラック・パターン変調に関する必要な情報を保持する。コンピュータ146の制御のもとで、トラックパターン変調信号はデータ収納部148から変調器駆動部150を通して書き込み、ビーム制御に送られる。これについて以下詳しく説明する。

これまでの記述から分かるように、エアースレッド120は直交する2方向の各々に対しかなり高い精度で位置決めされる。この位置の一つはアクチュエータ130の制御のもとで位相プレート

160との異なるトラックを選べるよう変わる。エアースピンドル110自身は凹部111内でその名目の軸に関し空気芯出しされ（air centered）であり、位相プレート60はエアースピンドル110上で周辺にある位置決めねじ118によってある程度大まかに固持される。

最終的な正確で動的な位置決めのために、システムは位相プレート60の外縁に配置された基準リング151に対してレーザー・ビームを偏向する。これらのリング151はクロムあるいは他の不透明材料でできており、フォトマスク上の高精度リングを用いたデポジションあるいはエッチング工程によって、前もって位相プレート60の上に作られる。しかし、また、これらは直描シーケンスによって位相プレート60が最初にエアースピンドル110上で芯出しされる時、その周囲の表面に分離して作ることもできる。この手法が本例では用いられる。これらリング151の約20個は、位相プレート60をその任意に決めた芯のまわりで回転させ、フォトリソグラフィ技術あるいは

高精度なカッティング技術で円環を作ることにより1.5ミクロンから4.0ミクロンまで変わる特定の幅と間隔のものとして組み入れられる。そしてリング151は手動調節の間の位相プレート60のその後の各々の再位置決めのための、また更に微小な偏心を補償するための書き込みレーザー・ビームの動的制御のための芯出し基準として利用される。従って、機械手段では一般に不可能な精度が達成できる。

グラナイトベース112の上に設けられた観察及び検出システムは最初の及び動的調節のために用いられる。支柱152は基準リング151を横切り位相プレート60のある固定位置まで延びるアーム154を含む。自動焦点のための従来と同様な光源やボイスコイル・アクチュエータ・システムは簡単のためにここで示していないが、しばしば用いられることになる。位相プレート60に隣接したレンズ156は光源157の像をビーム分割鏡158の向こうに方へ反射し、その像が二番目のビーム・スプリッター160を通して、接眼レンズ162に送

特開平2-1109 (26)

られる。光源157の波長は位相プレート60上のフォトレジスト材料が反応する波長とは違う。接眼レンズ162によって、オペレータが基準リング151の相対位置を見て、位置決めねじ116を調節して、エアースピンドル110上の位相プレート60の大体の同心性（例えば約1ミクロンまで）を得ることができる。

その後の音込み操作の間に、基準リング151の数の表示が結像され、ビーム・スプリッタ160を通過して鏡161まで、またレンズ164を通過してレチクル166まで送られる。焦点板168は不透明ライン168のパターンがあり、それは位相プレート60から反射されたリングの像が重なる基準リング151の特定の幅と間隔に対応する。位相プレート60上での反射基準リングの間での空白間隔がレチクル166上での不透明ストリップ168とちょうど一致した時は最大信号が与えられ、リング151の反射した像がレチクル166の透明ライン部分に重なった時は最小の信号が与えられる。パターンでいくらかの偏心があると、レチクル166

の後ろの光検波器170が前置増幅器172に偏心変化とともに正弦波状の形で変わる信号を提供する。この正弦波状変化の同期は相対的に長く、回転レートで決まる。代わりに、レチクル166は与えられた角度内で線の数は基準リングの像に対する数より少ないあるいは多い線を含んだものを用いることもできる。これは、前もって決めたやりかたで基準リング・パターンと相互相関するパターンを形成し、振幅が偏心変位と関係した交番信号が発信される。この偏心変化は位相プレート60に向った音込みビームの半径方向での位置を決め、偏心を0.1ミクロン以内に保持するために利用される。

この目的のために、安定なグラナイト基準ベース112にレーザー180が固定され、レーザービームを固定された反射器181からエアスレッド120の上に設けたハウジング182の方へ向ける。ビームは反射器181から偏向し、一つの音響光学変調器184に入る。レーザー180の波長はそれがフォトレジストを有効的に露光し、その上で定められ

た像を形成するように選ばれる。変調の後のビームは反射器187,188から他のコーナ鏡188に向かい、ハウジング182の側方アーム189の中の音響光学偏向器188を通過して、その後、鏡190から偏向し、レンズ192を通過して位相プレート60のある下方領域に集光する。ここでも従来からの自動焦点システムを使えるが、それは示していない。音響光学変調器184は変調器駆動部150から変調信号を受け、音響光学偏向器188は偏心センサー回路170,172から制御信号を受ける。偏向器188はトラックに当たるレーザービームの半径方向位置をエアスレッド120の位置により決められるビームの各目的位置に対して変えて、光検波器から来る信号に応じて、残った芯心を取り除く。

サブミクロンの分解能が、光学システムに対しブラッターを配置する際に達成されるように位置決め精度が臨まれるとき、特別の考慮が装置の校正に対しなされなければならない。

装置を校正するためには、位相プレート60そのものを基準として利用する。外側反射基準リン

グ151に加えて、フォトリソングフラフィー技術によってあるいはクロム表面に描いて、位相プレート60の中心に非常に近いところに第二組のリング193を書き込む。これらのリング193を一般的に図2と図5で示す。外側及び内側基準リング151と193をそれぞれ初めの回転中心に対し、中心を同じくして書き込む。この初めの回転中心は位相プレート60を回転エアースピンドル110の上に置くことによって一定の任意の制限の内に定まるが、この時点ではそれ以上正確にはわからない。測定と計算の手順は一人のオペレーターによって行うことができるが、校正のためにリングの位置を正確に決めるのには干渉計136と計算機146を含む第8図でのシステムをうまく活用する。エアスレッド120が半径方向の位置のスパンを通過して移動し、その上にレーザー180ビームがあつて、そして第8図でのセンサ（これは示していない）が反射信号を検出する。この検出器はそれぞれのリングを通過して集光するビームの経路の間で信号変化を与え、その横なパルスの各々は

特開平2-1109 (27)

トリガー信号として利用される。干渉計136の読みを同時に取って、データ・プロセッサでそれをトリガー信号と互に関連させる。このようなやりかたでそれぞれのリング（最初は外部のリングの組151）を検波するように、干渉計136から来る干渉縞の数は半径方向位置の正確な表示として計算機146に入る。半径方向の操作は内側リングの組193の中心の両側を通して実行され、それぞれの互いに離れたリングが基準点を通った時、トリガーがかかり読み取る。コンピュータ146を使って線形回帰を行い、正確な平均値を計算し、それで回転中心を非常に高い精度で決めることができる。干渉計136の測定を利用して、外側リングの組151のこの計算された中心に対する半径方向の距離をも決めることができる。この計算はその時の光の温度、圧力及び速度等の条件に対する正確な校正を行うことを可能にする。後の校正と比較するための標準を設定し、全ての有意の変化に対して小さいが有意の補正を計算することができる。こうして、干渉計の測定値を利用して

図示した構造がエアースピンドル110に対してよりよい安定性を与える。

スピンドル・駆動・サーボ・ループは所望のリングの半径方向位置と少し違う位置に増加的に駆動する可能性もある。しかし、この違いも音響光学偏向器によって加えられるビーム補正の成分として補償される。外側及び内側基準リングを、それらの間隔と幅を規則的でない形式で配列することによって有利に配置することができる。基準（リング）の組のリング間間隔の配列は、純規則的から疑似ランダム、ランダムあるいは例えば数学的級数による関数的な配置まで変えることができる。

そのために、多数のリング組の間でそれぞれのリングをその置きかたの特性から区別し、一つのリングを間違えて置くと必ず起こるあいまいさもさけることができる。リングをこのように規則的でない置きかたで配置することの他の利点は偏心センサーシステムでのフォトデテクターから検出する特性誤り信号がその誤り曲線であいまい

複数プラトートの半径方向での位置を決める時、その精度を $\pm 1/10$ ミクロンまで維持し、異なる領域での位相遅れが保証できる。

従って、操作において名目上中心となっているエアースピンドル101と位相プレート60の位置を、位相プレート60に連続トラックを巻き込むのに必要となるものと同じ様な高い精度で選んだ基準点に対して初めに決める必要がない。その代りに、マイクロリソグラフィの工程を始めるのに位相プレート60の中間領域に対してフォトレジスト材料を塗布した後、オペレーターは基準リング151を観察することにより、位置決めねじ118で、初めに位相プレート60に概略位置を決める。エアースピンドル110が回転しているため、基準リング151に対するいくらかの偏心が起こると、長い正弦波状の偏心信号が発生され、偏向器188による偏心の動的校正が行なわれる。容易に理解できるように、エアースレッド上での偏心センサーとレーザー・ビームを固定しておいて、逆の配置を利用することもできる。しかし、

さも位相反転も含まないように形成できることである。

位相プレート60の始めの表面処理、独立のフォトリソグラフィ工程あるいはエアースピンドル110の上でならカッチングのどちらかにより外側基準リングが作り込まれた後一つの代表的な位相プレート上での直描工程が始まる。どんな時でも位相プレート60をエアースピンドル110上の保持システムから取り去り、必要な深さまでフォトレジスト層を塗布することができる。この層は基準リング151を含んだすべての領域に設けられる。この領域の間に複数レベルプラトーが形成される。フォトレジストが実質上赤色光に対して透明であるので、偏心デテクターで基準リングを見ることができる。

次は、位相プレート60をエアースピンドル110の上に再び配置する。その時、始めにオペレータが接眼レンズ182で観察しながら、概略芯が出るまで、手動で調節を行なう。その後、エアースピンドル110が決められたレートで回転

特開平2-1109 (28)

し、レーザーが選んだトラック位置に集光されトラックが前もって決められた幅で書き込まれる。トラックのそれぞれの書き込みに従って、エアースレッド120の位置がコンピュータ146の命令のもとでのアクチュエータ130によって別の半径方向トラック場所で再び決まる。次のデポジションあるいはエッチング段階の後ですべてのトラックがそのプラトーレベルを持つようにするため、完全な露光が行なわれるまで、他のトラックが連続的に書き込まれる。

それとは別の手順としてはエアースレッド120をスピンドル1回転で0.1ミクロン・ピッチという安定したレートで動かすことである。このように作られたスパイラル・パターンは断続的駆動によって形成された円形パターンと実効的には区別できない。

位相プレート60をエアースピンドル110上の位置から取り去り光露光された像を固定して、そして決められた像を残すために現像されていない材料を落とす。その後、デポジションあるいは

エッチングを必要なレベルまで行ない固定したレジスト層を全部落とし、その代わりに、次のトラックグループのパターンを書き込むための新しいレジスト層を置く。その後、このシーケンスを繰り返す、すなわち、フォトレジストを露光固定されていない材料を洗い落とし、次のプラトーまでデポジションあるいはエッチングして、その後もし必要があればこのサイクルを繰り返すため固定されたフォトレジストをもう一度取り去る。

精度の高い同心トラック位相プレートの上に直接書き込むこの方法によってデポジションあるいはエッチされるプラトーのそれぞれのレベルに別々のマスクを作って、そしてそれを配置するようなことがされる。このことは超高分像システムに対し特に重要である。そのようなシステムでは完成したレンズ集合体の成分の実際の特性に最良の補正を与えるため、計算によって位相プレートは個別化される。このためには、決められた理想特性に一番近い範囲で、最初にレンズ・成分を設計し、研削、研磨する。その後、これらの成分

の理想から違いの程度と内容を解析し、実際の特性に合わせて行なう補正が計算される。計算した情報をトラック・データ収納部148（これはディスク・ファイルでもよい）、テープ駆動機構あるいは他の記憶システムに入れる。補正した値に基づいてトラック・データ収納部の内容を更に修正することができる。このような個々に応じた調整は個々のシステムに最大の解像を与える。

このすぐれた方法はデポジションあるいはエッチングに個々のマスクを用いることを除外しない。その方法をそれぞれ第9図と第10図で示す。この二つの図は段階的手順によって、決められた高さ（明確にするために第9図と第10図で省略しているが、紫外波長に対して、一般に427nmより大きくならない）の八つのプラトー規則的配列をどう形成するかを示す。プラトーの位置は一番低いプラトーから一番高いプラトーまで及んで零から七まで設計される。簡単のため、いくつかの段階は組み合わせられる。

第9図を参照すると、一番目のマスク200を用

意し、従来の形の密着転写フレームを用い、基板表面に塗布された第1レジスト層202の上に密着して置く。三つのデポジション段階だけで八つの異なる層を得るためには、デポジションを2値的に、層の厚みが波長最小増分の倍数で変わるよう行なう。用いるレジストはポジのものであってもあるいはネガのものであってもかまわない。ポジかネガかによって第一マスク200を通じて露光された後、露光されたあるいは露光されなかった領域のどちらかが洗い落とされる。それと同じように、マスク上での像がポジであっても、ネガであってもよい。この例では、ポジのレジスト材料を用い、光を受けたフォトレジストは固定されず、洗い落とされるが一応未露光部は固定される。洗ってから、基板上保護された材料のパターンは第9A図の第一マスク200で不透明とされた領域に対応する。ペーパーデポジション工程を用いペーパー状シリカが基板204に堆積する時監視することによって、第7B図から分かるように、第一のプラトーが位置1、3、5及び7に設けら

特開平2-1109 (29)

れるがレジスト層202は洗い流されている。第9C図で示すように、その後第二のレジスト層205をデポジションし、それを位置0、1、4、5を被う第二のマスク206でおおう。第9D図からわかるように、マスク206を通じて露光し、マスク206を取り去り、そして洗浄等のことが終わってから、第二のプラトーをデポジションし、すべての露光された領域に第一のものの二倍の厚みを加える。第9D図から分かるように、この手順は基板を残す。二つの四段階手順があって、位置1、4での零平面から始まるということは注意すべきである。第9E図が第三のマスク207の適用を示す。すなわち、それが第三のレジスト層208の上にあって露光されたフォトリソを除去後の4つ分の高さの層の付加が0-7から(第9F図)のプラトーの規則的な継がりを残すよう位置0-3をおおう。一連のマスク200、206、207を配置する時は、位置を正確に決めるために、位相プレートの外周の基準リングを利用する。マスクを用いる順番を逆にして同じ結果を得

ることも可能である。

第9図は、一連のプラトーを基板にエッチングする時の手順を示す。マスクの透明な領域はレジスト層の上での材料を基板から除去する領域を示す。層を形成する時と同じ三段階手順を用いるが、プラトー製造の順番が逆になって、始めが一番深いエッチングが起こるようにする。第一のマスク210(第10A図)は第一のレジスト層211上で位置4-7をおおい、四つ分の深さの層のエッチングが位置0-3(第10B図)で低いプラトーを作るために用いられる。

第10D図における4つの2つ分の高さの増加分を残すために、第二のレジスト層213上の第二のマスク212は位置2、3、6及び7をブロックする。その後、第三のレジスト層上の第三のマスク214は位置1、3、5、7をおおうため、第三の単層エッチングにより第10F図の規則的な一連のプラトーを残す。

今まで説明した理由のため、直描技術が望ましいが、個々のフォトマスクを第8図で示す高精度

なビーム書き込みシステムで作ることもできる。感光材料をエアースピンドル上のフレーム内に保持し、基準パターンと個々のトラックを書き込む間、それをその位置で持てる基準リング151、193を最初の書き込みの間にクロムの下に置いておくことができる。スピンドル110の位置は非常に正確なので基準リングはほとんど環状であり、リングパターンの中心を規定し、また中心軸と同心であるので、偏心修正を必要としない。外側基準リングに使うマスク220の一つの断片を第11図で示す。個々のトラックが非常に小さいので、これを大きく拡大している。基準リング222を外側領域で提供し、アライメントと外部基準クロムリング151を位相プレート周辺に近く置き、それでおおのこのマスク220の芯を保証する。複数プラトー・パターンでの個々のプラトーを構成するトラックを不透明領域224、透明領域225として示す。

従来の方法によると、システムでの別々のレンズ・エレメントの精密な芯出しとアライメント

が長時間と大きな努力を必要とする。この仕事を簡単化するため、位相プレート60の外側に近いクロム基板の中に初めから何組の芯出し及び位置決めグレーティング・リング226(第2図と第5図)を設ける。こうすると、位相プレート60がその位置にある時は、これらのリング226が自動的に臨界開口に集中する。外側基準リング151と赤色光波長透過グレーティング88の間に、グレーティング・リング・バンドを多くおく。第12図で示すように、個々バンドは初めの組み立てとアライメントの手順にかなり有利に用いられる。これはこれらのバンドが角度とエレメント間隔の面で必要な精度を維持するからである。最初に、位相プレート60を臨界開口に配置し、それを基準として、すべてのレンズ・エレメントの位置を決め、集光する第12A図から分かるように、この目的を目指して、一つの光源(示していない)から来る平行光線を開口230の中から通過させて、その形リングの形式にする。そうすると、光線は位相プレート60の上での芯出しと位

特開平2-1109 (30)

位置決めグレーティング（グレーティング・リング 228 の細分組）の第一のバンドの上に照射する。その後、第一レンズ素子 234 を光軸の中心に対して調節し、光線を光軸上での正確な点 235 に集光するようにする。この点はその後軸方向での基準となる。小さなあながある一つの隔膜をこの点に置く。芯出しと位置決めグレーティング・リング 228 セットのこのバンド 232 を第一レンズ素子 234 の実際の特性に関する情報によって構成し、その特定の素子だけを芯出しするために用いる。その後、位相プレート 60 上での芯出しリングと位置決めリングの第二のバンド 237 を第三の開口板 238 によって平行光線で照射する。ここで第二のバンド 237 を第一のレンズ素子 234 と第二の素子 240 との組み合わせた特性に従って光線を曲げるように設計する。光軸上での選んだ点 235 で焦点を得る前にもう一回第二の素子 240 は動かされる。

図 12 C から分かるように、位相プレート 60 の臨界開口位置の同じ側で全部の付加光学素子を

組立て終わるまで、このシーケンスを別々の光学素子とグレーティング・リング・バンドで繰り返す。その後、隔膜 238 でのあなを後ろからレーザー 250 と縮小結像レンズセット 252 で照明する。その次は、形成した開口板 248 経由でレンズ素子 234, 240, 242, 244 を通って照明された位相プレートでの別のバンド・セット 245 を用い、軸方向に収光点 249 を作ることによって、もう一つのレンズ・素子 248 を反対側で芯出しし、軸方向で置くことができる。全部のレンズ組み立てが終了するまで、その後も別のレンズ素子でこれらのステップを繰り返してもよい。

従来の芯出しそして軸方向位置決め技術も利用できるが、しかし一番精密に作られたレンズでも製造許容誤差があり、レンズ素子のいろいろの累積的な組み合わせに対してこれらが測定できるし、そして位相プレート 60 を臨界開口に固定するため、位相プレートの利用はこの点で特に有利である。

今第 13 図を参照すると、この発明による顕微

鏡 260 の主な素子は、顕微鏡 260 の臨界開口位置の位相プレート 262 を含む。標本 264 を薄いカバー・ガラス 268 の下、透明基板 266 の上に置く。発明による照明器 270 は多数光源を含む特別にランダム化された時間的にコヒーレントな光ビームの向きを標本 264 経由で顕微鏡 260 の対物レンズに行く方向へ向ける。位相プレート 262 の設計は光学システムの屈折素子での球面収差を修正し、そして単色照明は後の色修正に対する必要を除去する。カバー・ガラス 268 は当たる光線に特別な球面収差を加えるが、それも補償できる。顕微鏡に対するこの応用はもっとのゆうせいがあ。すなわち、特別に平たいフィールド対物鏡がいつもカメラ作業に要求され、そして球面収差修正が非点収差と作る予定のフィールド平らさに対してずっとよい修正を与える。

“アキシコン光学エレメントの新しいタイプ”
(J.H. McLeod, "The Axicon, A New Type of Optical Element", Journal of the Optical Society of America, August 1954, pp. 592-592)

という論文では円すい形表面レンズシステムが描写されている。このシステムは平面波光を光学軸と光線の実際のあるいは仮想のライン映像に変換する。このタイプのシステムの長所はそれが非常に狭い円すい形光ニードルを提供し、光学記憶再生装置のような多くの近代光学システムが要する自動フォーカス・システムに対する必要を除去することである。アキシコン表面から屈折させられた平面波光の収束と補強によって効率を達する。光線の軸方向位置が収束アキシコンエレメントのオーバーチャで制御でき、光線の幅あるいは寸法が数値オーバーチャあるいはビーム収束角度で制御できる。しかし、特別円すい形のそして他の非球面表面が要るので、このタイプの光学システムの十分な能力がまだ実現されていない。

しかし、この発明では、アキシコン効果が照明器 270 を位相板 272 及び球面レンズ 274 (必要な場合一つより多い屈折エレメントを用いてもよい) と一緒に利用することで達成できる。位相板 272 に多数のプラトーを等しいに近い幅と厚み、

特開平2-1109 (31)

かわりない半径があるように配列することによって、球面レンズ274とともに円すい形レンズの効果は二倍に増加される。位相板で光線ベンディングを約3°に限定する。第14図から分かるように、収束平面波光が有用な大幅焦点深度を与える。もし必要となる多重ブラトー・リング変化を取り入れることによって、同じ位相板272で、球面レンズ274での球面収差が修正できるというのはとてもありがたいことである。

第15図と第16図で、発明通りの概念の円柱レンズ・システムに対する応用を示す。このような応用では、照明器270が規制された特性のある光線を位相プレート282を通るように向ける。この位相プレート282はスロープと幅が変わる平行光線の形での多重ブラトー変化284がある。ブラトーの傾きと幅は同じ光学経路にある円柱レンズ・セット286,288の中心光軸に対して非線形に変わる。円柱レンズ・セット286,288での収差に対する位相遅延によった補償を光学軸に対する位置によって、全部の位相プレート282に取り入れ

る位相プレートの一部份の正面図であり、少し理想化された形で、一般的なリング配列を示す。

第3図は位相プレートの部分側断面図であり、位相プレート中でのブラトーの変化と波面の変動の補正を示す。

第4図は第3図と同様な別の部分側断面図であるが、ただし、波面補正の異なる様相を示す。

第5図はブラトーに加えて内側と外側のグレーティングリングを説明するフェーズプレートの拡大した断面の一部の描写である。

第6図は位相プレートの他の部分側断面図であり、位相反転を組み入れる方法を示す。

第7図は第1図のシステムで用いるウェーハ・アライメント・システムのより細部を示す構成及び概略図である。

第8図はこの発明に従って、位相プレートを作るための直描きシステムを示す断面の構成図である。

第9図は9Aから9Fまでの部分から成り、デポジションによって位相プレートを形成するのに

る。

もう一つありがたいのは位相板と円柱レンズが組み合わせられるということである。この組み合わせでは、位相板が浅いプリズムあるいはバイプリズムの動きを近似する。バイプリズムと適当な光映写機の組み合わせは光学システムから外へ伸び、円柱の軸を含む平面に横たわる光シートを引き起こす。それに加えて、これと以上描写した他のシステムは結像システム及び再生システムとして、このように引き起こした映像フィールドの中で、同じように役目をよく果たす。

いくつかの手段と変形を述べたが、認めなければいけないのは、この発明がここまでと限っているのではなくて、添えた要求の範囲ですべての形式と変形を含む。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、照明系及び位相プレートを含むこの発明によるシステムの主要な要素の簡略化した概略構成図である。

第2図は第1図のシステムに用いることのでき

用いられる各ステップの描写である。

第10図は10Aから10Fまでの部分から成り、エッチングによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第11図はこの発明により位相プレートを作るのに用いることのできるフォトマスクの一部分の平面図である。

第12図は図12Aから図12Cでシステム内のレンズ素子のアライメントに用いることのできる個々のステップを示す。

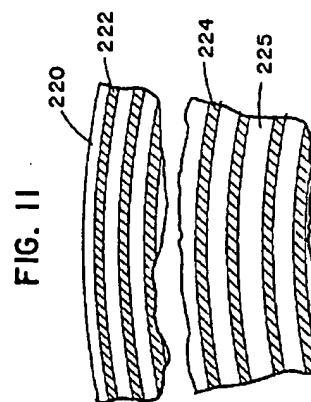
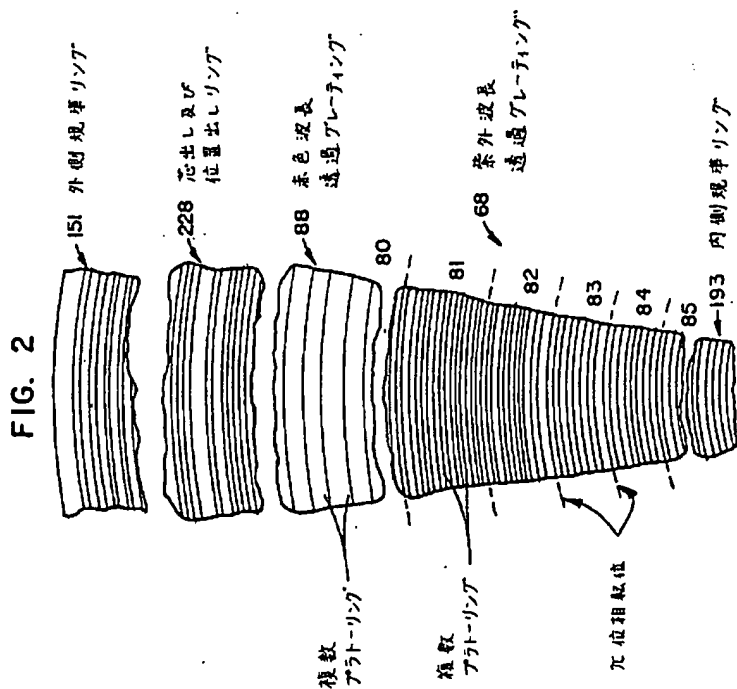
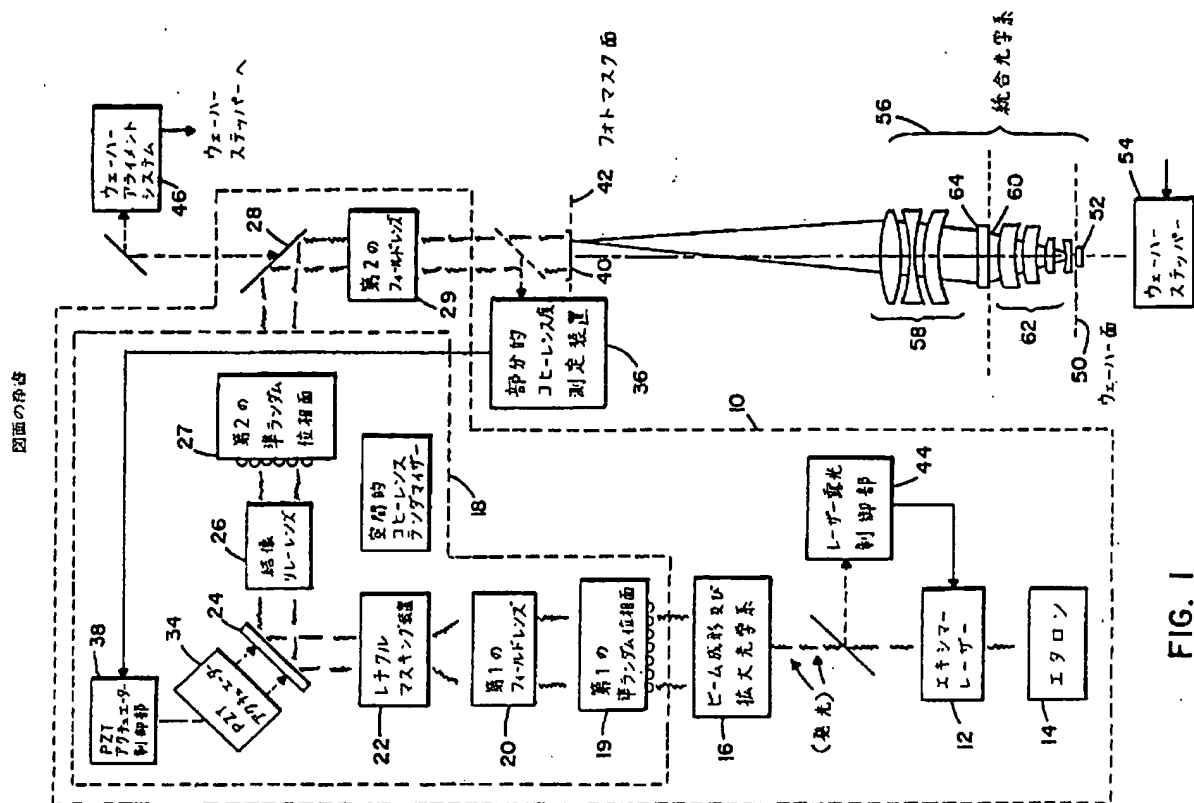
第13図はこの発明による高い解像の顕微鏡法に用いられるシステムの一例の側面概略図である。

第14図は本発明による、光軸に沿った針状の光の線を与えるアキシコンタイプのシステムの側面概略図である。

第15図は本発明による位相プレートを用いた円柱レンズ・システムの簡略な配置図である。

第16図は第15図のシステムの平面図である。

特開平2-1109 (32)



特開平2-1109 (33)

FIG. 3

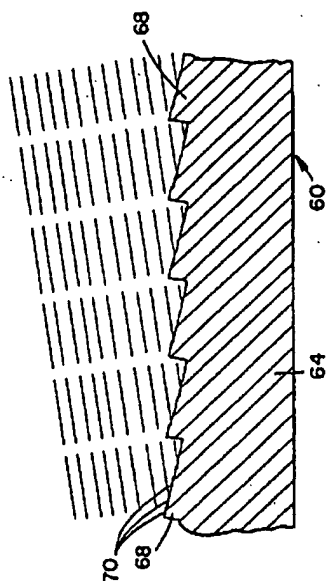


FIG. 4

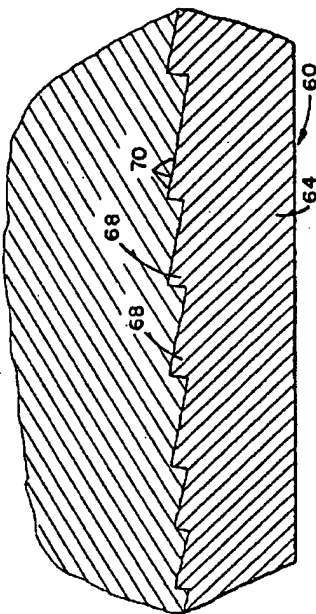


FIG. 5

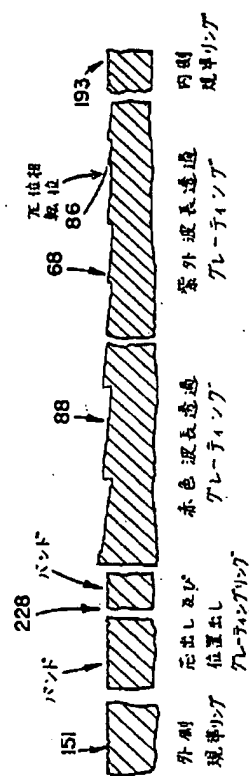


FIG. 6

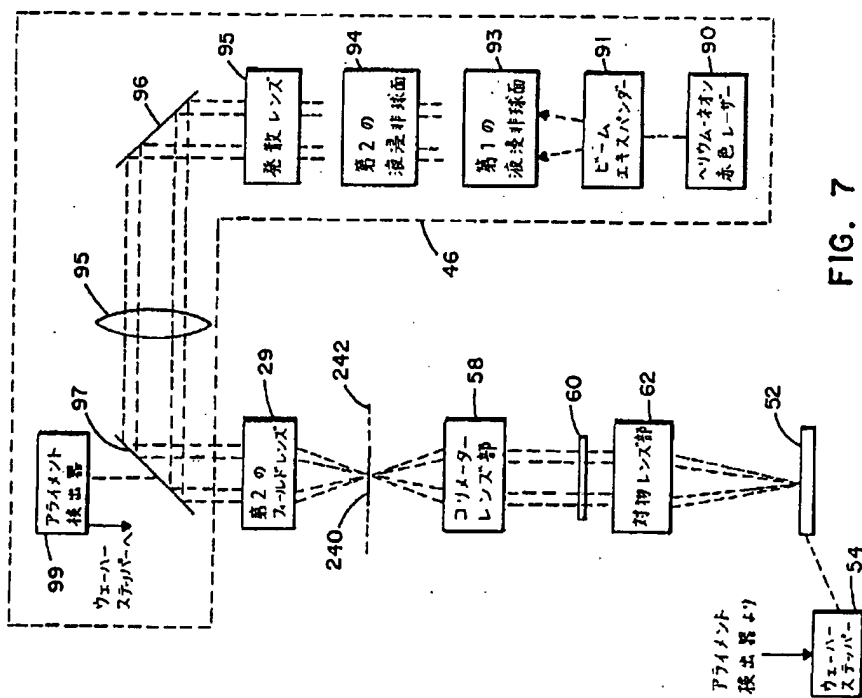
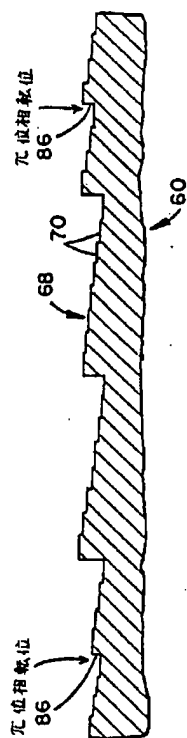


FIG. 7

特開平2-1109 (34)

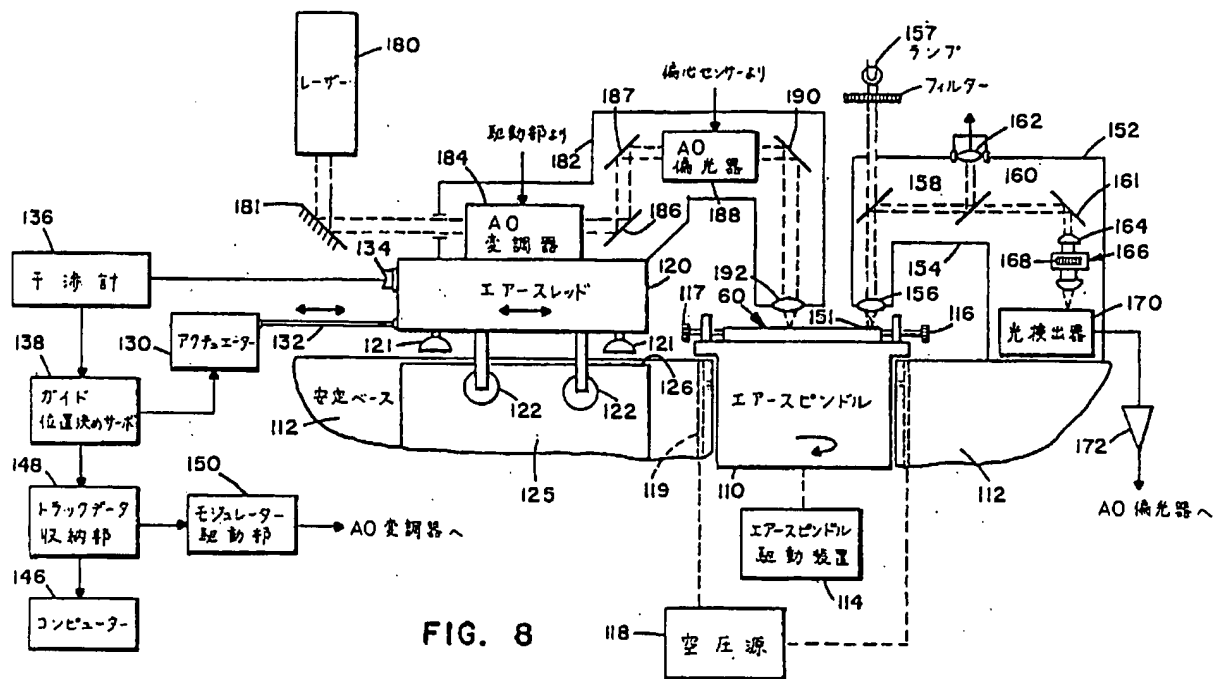


FIG. 8

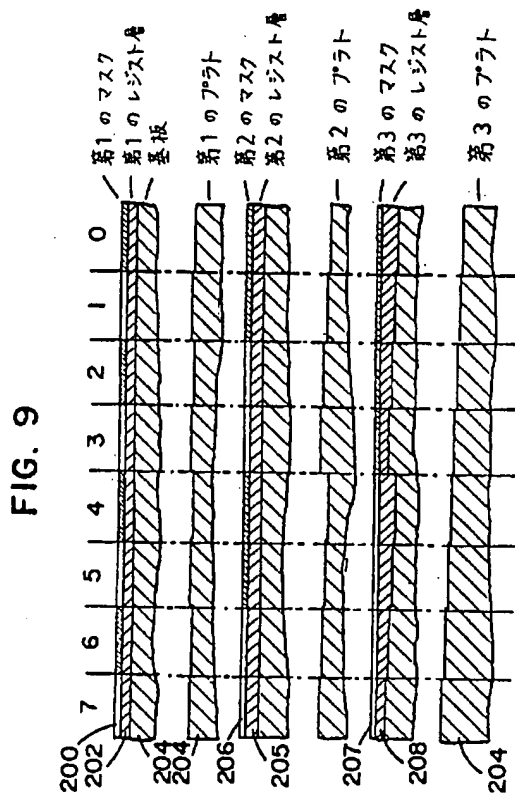
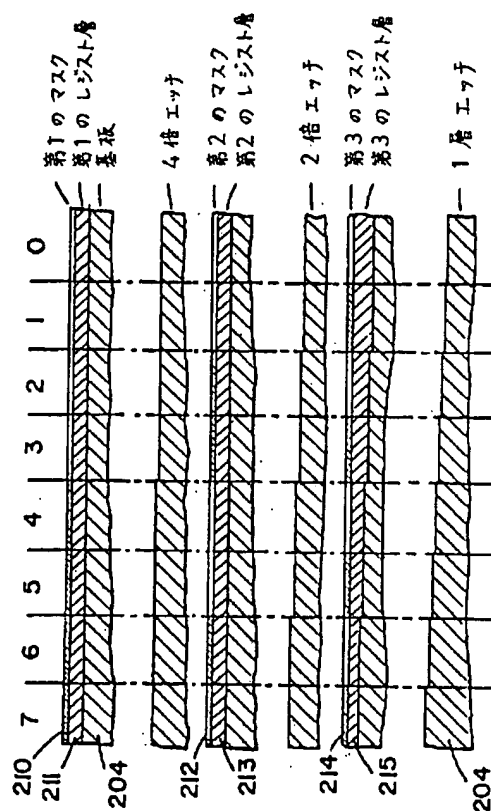


FIG. 10.



特開平2-1109 (35)

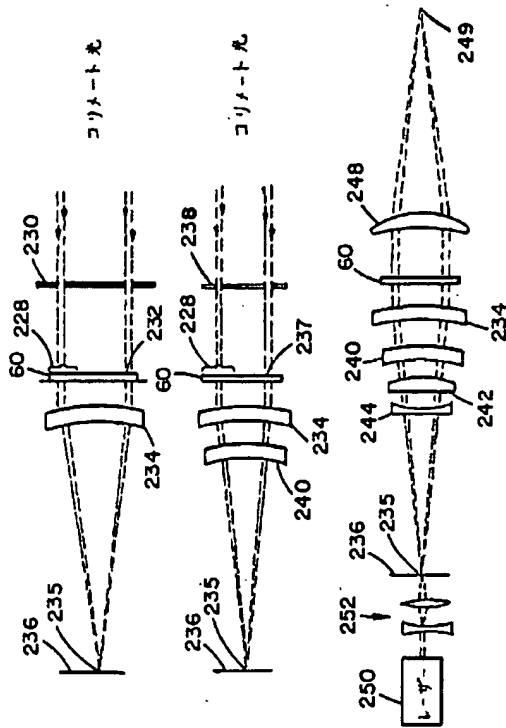


FIG. 12

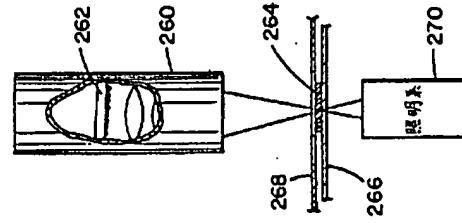


FIG. 13

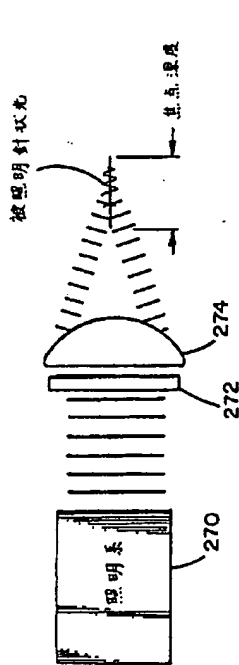


FIG. 14

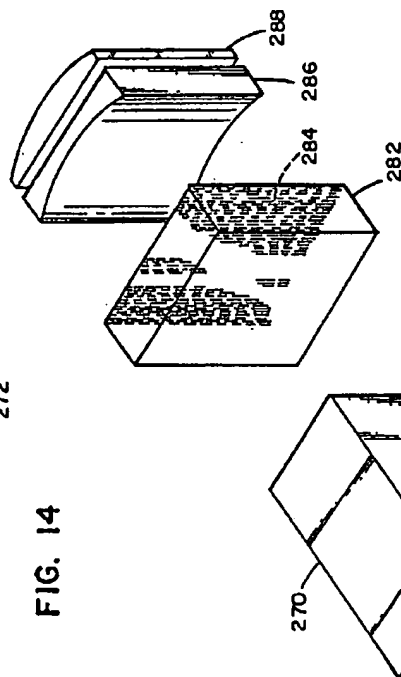


FIG. 15

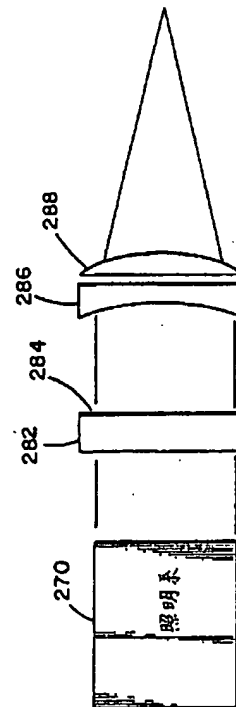


FIG. 16

特開平2-1109 (36)

手続補正書 (自発)

明 細 書 (全文訂正)

平成 1 年 1 月 13 日

特許庁長官 吉田文毅 殿

1. 事件の表示
昭和 63 年特許願第 257673 号
2. 発明の名称
高解像結像システム及び方法
3. 補正をする者
事件との関係 特許出願人
テオドル ロバート ホイットニー
4. 代理人
東京都港区麻布台 2 丁目 4 番 5 号
〒106 メソニック 39 森ビル 2 階
電話 (03) 438-9181 (代表)
(6735) 井理士 下田 容一郎
5. 補正命令の日付
自 発
6. 補正の対象
明細書
7. 補正の内容
別紙の通り全文訂正した明細書を提出する。

同心円状のパターンを含むことを特徴とするシステム。

(4) 請求項 3 に記載のシステムにおいて、光学システムは球面収差があり、グレーティング手段の非線形パターンは半径の開数として変わる位相遅延を生じさせ、位相遅延は一つの位相基準に関して光学システムの球面収差を抑えかつ補償することを特徴とするシステム。

(5) 請求項 4 に記載のシステムにおいて、光学システムは既知の色分散があり、グレーティング手段での色分散が、該光学システムでの色分散を抑えることを特徴とするシステム。

(6) 請求項 4 に記載のシステムにおいて、非線形のパターンの組が臨界開口の一部で少なくとも一つの 180° の位相変化があるように構成されることを特徴とするシステム。

(7) 請求項 4 に記載のシステムにおいて、パターンの組はいろいろな増加的半径の変化に対し位相変化があるようにして構成され、一つより多い環状帯を含む一つの隨機能を与えることを特徴

1. 発明の名称

高解像結像システム及び方法

2. 特許請求の範囲

(1) 実質的に単色の光源手段と、

臨界開口を有する光学系と、

該臨界開口に置かれた位相透過グレーティング手段とからなり、該グレーティング手段がブラトーの組を複数有するとともに、光源手段は光を光学システムとグレーティング手段の全体に分布させて与えることができるように配置されていることを特徴とする高度に補正された光学像を形成するためのシステム。

(2) 請求項 1 に記載のシステムにおいて、ブラトーの組は臨界開口で光エネルギーに、増加有位相遅れ量を与え、光源手段はビーム領域全体に分布する複数の光源を与えることを特徴とするシステム。

(3) 請求項 2 に記載のシステムにおいて、ブラトーの組は非線形的に変わる半径方向の幅を持つ

とするシステム。

(8) 請求項 4 に記載のシステムにおいて、パターン中の選ばれた一つは、選ばれた隨機能に従って部分透過又は不透明であることを特徴とするシステム。

(9) 請求項 1 に記載のシステムにおいて、臨界開口を通過する波面の曲がりは約 5° より小さい角度に限定されることを特徴とするシステム。

(10) 請求項 1 に記載のシステムにおいて、照明領域の全体に渡り、空間的に分散した点光源を提供するための光源を組み入れた手段を含むことを特徴とするシステム。

(11) 請求項 1 に記載のシステムにおいて、光学システムと位相透過グレーティング手段は、光軸に沿った細く長く伸びた照明を生成する収束平面波に光を曲げるよう形成されることを特徴とするシステム。

(12) 請求項 11 に記載のシステムにおいて、光学システムが少なくとも一つの球面屈折素子を含み、位相透過グレーティングは実質的に周期的な

特開平2-1109 (37)

半径方向の幅と間隔とを有する同心のブラトローリングを複数有することを特徴とするシステム。

(13) 請求項1に記載のシステムにおいて、光学システムは一つの円柱レンズ手段を含み、位相透過グレーティングは該円柱レンズ手段がそれに関して曲がっているところの軸に実質的に平行である、複数の実質的に平行な多重ブラトローリングを含むことを特徴とするシステム。

(14) 請求項12に記載のシステムにおいて、光学システムは標本を観察するための顕微鏡を含み、該顕微鏡は許容される程度の球面収差を持つ屈折素子と該球面収差を補償するグレーティング手段を含むことを特徴とするシステム。

(15) 請求項14に記載のシステムにおいて、光学システムは更に透明なカバー手段を含み、グレーティング手段はまた該カバー手段による球面収差を補償するシステム。

(16) ある特定の表面で所望の光分布を与える光学システムにおいて、該システムが

選んだ波の数まで時間的にコヒーレントであ

手段が、ランダム化された位相透過パターンを有する光路中の一対の面と、一連のパルスの間、面の一方を他方に対し動かす手段とを含むシステム。

(20) 請求項17の光学システムにおいて、光波は約10,000の波を越える程度まで時間的にコヒーレントであり、球面収差は最大約75の波の程度あるいはそれ以下にまで制限され、光源手段は像面の各点に10⁻³程度のオーダーの点光源を与えるシステム。

(21) 光エネルギーの精密な結像のためのシステムであって、

ビーム領域の全体にわたり実質上同じ波長の互いに独立な光源の複合となる形で照明を与える手段、

複数の、全体としてある決まった球面型の収差を伴って光結像を与える屈折光学素子、

屈折レンズ素子と組み合わせり、局所的に位相遅れを変化させることにより、補正された合成波面が与えられるよう該屈折光学素子の球面型収差を

り、空間的コヒーレンスは制限されている光を与える光源手段と、

光路中に配置され、概略所望の光分布を与える光学レンズ手段と、そして

光学レンズ手段と共に配置され、時間的コヒーレンスの波の数より効果的に小さな波面の位相遅れを与える位相プレート手段を含むシステム。

(17) 請求項16記載の光学システムにおいて、光源手段はコヒーレントな光源手段と、該コヒーレントな光源手段からの光の空間的コヒーレンスを制御可能な形で減少させるための手段を含むシステム。

(18) 請求項18の光学システムにおいて、光にตอบสนองし空間的コヒーレンス度を検知するための手段、その検知された空間的コヒーレンス度に応答し該空間的コヒーレンスを減少させる手段を制御するための手段を含み、光源手段が連続的光パルスを与えるための手段を含むシステム。

(19) 請求項18の光学システムにおいて、制御可能な形で空間的コヒーレンスを減少させるための

補償するため複合独立光源からの光波に対し位相遅れ及び再配向を与える透過グレーティング手段を含むシステム。

(22) 請求項21に記載のシステムにおいて、該独立光源は実質的に空間的インコヒーレントであり、約10,000の波のオーダーの程度まで時間的にコヒーレントであるシステム及び方法。

(23) 請求項21に記載のシステムに於いて、透過グレーティング手段は同心複散ブラトローリング・システムを含み、該リングの各々は、合成波面全体に渡り、約1/20波(長)のオーダーの精度を与えて、通過する照明光に増加的な位相遅延量を与えるシステム。

(24) 請求項23に記載のシステムに於いて、複散ブラトローリングが変化する傾きと幅を有し、ある積算最大値まで増加的に変化する位相遅延を連続的に与えるシステム。

(25) 光エネルギー・ビームの波面の形を精密に調節するためのシステムであって、

実質的に同じ波長の複数の光源の形態で、ビー

特開平2-1109 (38)

ム領域全体にわたり照明光を与える手段、

ビーム照明光路にあり、臨界開口での光線高のある定まった関数として対称に変わる決められた収差特性で光結像を与えるが、しかし、像高とともに、あるいは光線子午面の臨界開口での角度方向とともに変わる収差成分については高い補正能力を有する複数の屈折レンズ素子、そして、

ビーム照明光路中の臨界開口にあり、臨界開口での光線高のある第2の定まった関数に従う位相遅延と照明光の再配向のため屈折レンズ素子と共に作用し、該屈折レンズ素子の決められたレンズ特性を補正する透過グレーティング手段を含むシステム。

(26) 請求項25に記載のシステムに於いて、位相プレートにより補正される臨界開口での対称な変動は球面（型）収差であるシステム。

(27) 半導体ウエーハに、精密に補正された単色の像を与えるシステムであって、

光軸に沿って配置され、臨界開口、約7.5波分を越えない累積の球面型収差、正である累積の色

定めるよう位相関係が変わる、決められた区分に配列され、照明手段はパルスレーザーを含むシステム。

(30) 請求項28に記載のシステムに於いて、リングは、合成波面に於ける波面の変形を局所的に補正するためある波長の光学的遅延を与えるよう、その幅と傾きが変わり、波の位相関係は位相 π の形で変わり、グレーティングにより生じる最大曲がり角は約5°であるシステム。

(31) 請求項29に記載のシステムに於いて、照明手段はエキシマー・レーザー、エタロン同調キャビティを含み、位相ランダムマイザー手段は照明経路の1対の準ランダム位相プレートと、（複数）光源の間の空間的關係を変える手段を含むシステム。

(32) 請求項31に記載のシステムに於いて、位相ランダムマイザー手段は、光源の空間的コヒーレンス度を検知するための手段と、準ランダム位相プレート間での光源の相対的な動きの変化を生じさせるため、該検知されたコヒーレンス度に対応す

収差を有する一連のレンズ素子、

臨界開口に配置され、複数のリングを有し、その各々のリングの複数のプラトーが球面型収差に対し局所波面の補正を与え、ある定められた波長の光に対し補正のための負の色収差を有する透過グレーティング、そして、

実質的に単色な光を光軸に沿って向かわせ、該実質単色光はある決められた波長であり、10000波のオーダーの時間的コヒーレンスを有し、実質的に空間的インコヒーレントな照明手段を含むシステム。

(28) 請求項27に記載のシステムに於いて、各々のプラトーが、光の局所的に当たる領域で増加的に変化する光波の遅れ量を与え、照明手段は、スペクトルの紫外領域にて0.03nmのオーダーのバンド幅を有する、空間的インコヒーレントで位相ランダムな光源を与えるシステム。

(29) 請求項28に記載のシステムに於いて、複数のリングの各々が、連続的に変化するプラトーを有し、少なくとも2つのゾーンよりなる腫機能

る手段を含み、該システムは更に、露光時間を制御するため、照明手段の光エネルギーにตอบสนองする手段を含むシステム。

(33) 理想化された仕様に対する収差を有する合成波面の精密な非球面補正を与えるためのシステムであって、

増加的に変化する狭いトラックのマイクロリンググラフィー・パターンを有し、プレート上のトラックの高さの差分が、最大で、ある決められた波長の入射単色光の1波長をプレートの屈折率で割ったその比率に比例する透過ブレードグレーティング、また幅が、ある決められた関数に従い波面の局所的な位相遅延を与えるよう、波面の微細構造の再構成を行うための開口全体に渡り、該単色光の波長に、その約1/20以内で比例するトラック、そして、

該決められた波長の予期可能な周期性を有し、複数の位相ランダム光源をなす単色光で、プレート上のパターンを照明するための手段を含むシステム。

特開平2-1109 (39)

(34) 請求項33に記載のシステムに於いて、単色光は紫外領域にあり、トラックは同心で、高さが連続に変わるような周期的な手順で配列され、最少のトラック幅は1ミクロンのオーダーであり、プレートにより生ずる光の最大曲がり角は約3°であるシステム。

(35) 請求項34に記載のシステムに於いて、該システムは更に、グレーティング・プレートと共に光路中にいくつかの球面光学素子を含み、該光学素子は累積的な収差を与え、該プレートがその様な収差を補正するシステム。

(36) 請求項35に記載のシステムに於いて、システムは臨界開口を有し、プレートが該臨界開口に配置され、連続的なパターンが少なくとも2つの環状帯より成る瞳機能を与えるよう、異なった位相区分に配列され、球面レンズでの補償される累積的な収差は主に球面型収差と色収差であるシステム。

(37) 請求項36に記載のシステムに於いて、焦点深度増加のため6つの環状帯より成る瞳機能があ

り、単色光の周期性は、(光)波が最大位相遅延の少なくとも約50倍より大きな時間的コヒーレンスを有する如きものであり、複数の位相ランダムな光源は、照明される各点に、約 10^3 個の光源を与える如きものであるシステム。

(38) 請求項37に記載のシステムに於いて、単色光は約248nmの波長であり、プラトーの高さの最大差分は約0.427ミクロンであるシステム。

(39) 請求項38に記載のシステムに於いて、トラックが1/8波長の光学的遅延のステップで、0から1/8波長分の高さまで増加的に変化する名称上のリング毎に8つのトラックを有するリングの形に配列されるシステム。

(40) 平面の透明基板を透過する波面内にて光波の遅延の変化を与えるための透過グレーティングを作る方法であって、

2ミクロンのオーダーの幅の第1の基準パターンを与えるトラックを作るのに基板上の感光層を照明するステップ、

第1の基準パターンに従って基板上に、決めら

れた第1の高さの高さと透過率が均一であるトラック層を形成するステップ、

上記の如く処理された基板上に感光材の層を置くステップ、

該基準パターンに従い、感光材を光照射することにより、幅が2ミクロンオーダーのトラックの第2の組を定めるステップ、

第1の層に累加される、均一な高さの異なる第2の透過層を定めるため、該基準パターンに従い、基板上に決められた第2の高さのトラック層を形成するステップ、

該基板上に異なった高さの層を有する複数のトラックが作られるまで、引き続き、基板を感光材で被い、光照射を用いてトラックパターンを定め、高さが異なる透明材の累加層を形成するステップを含む方法。

(41) 請求項40に記載の方法に於いて、トラックの層は、2値変化的な手順で作られ、累加的な層形成により一連の増加的に高さの変わるトラックが得られる方法。

(42) 請求項40に記載の方法に於いて、少なくともトラックの大部分は、半径の関数として、ある決められた形に従い、半径方向に変わる幅と傾きを有する(光)波の遅延を生じる複数のプラトーリングを形成するため、一連の増加的に変化する同心プラトーの形に配列される方法。

(43) 請求項42に記載の方法に於いて、同心トラックは、透過グレーティングに入射する単色光に対し波長の何分の一かの光学的遅延のための、基板のベース面に対しある最大の光学的遅延を有するプラトーを定める方法。

(44) 請求項43に記載の方法に於いて、0から1/8波長分まで8段階に累加的に増すレベルを形成するため、入射単色光の波長に対し、層が光学的遅延として、1/2波長、1/4波長、1/8波長分である方法。

(45) 請求項44に記載の方法に於いて、基板の元のレベルと層表面の間の光学遅延の最大変化が、波長248nmの光に対する1/8波長分の光学的遅延に必要な、SiO₂の大よその厚さより大きくない方

特開平2-1109 (40)

法。

(46) 請求項40に記載の方法に於いて、トラックは、一連の、決められた最大高さのプラトーを定め、各々の一連のプラトーが1つのリングを定め、該リングは決められた間数に従って変化する幅を有し、該プラトーは従って変化する傾きを定める方法。

(47) 請求項40に記載の方法に於いて、層のパターンは基板上の照射されたパターンの上に、決められた一様な高さの光透過物質をデポジットすることによって形成される方法。

(48) 請求項47に記載の方法に於いて、デポジットされる物質は高純度シリカである方法。

(49) 請求項48に記載の方法に於いて、トラックは、基板構成体上に厚さが1ミクロンより小さいフォトレジスト材料で層を作り、同心トラックパターンにフォトレジスト層を照射し、照射されたパターンから材料を洗い流して非露光領域を残し、非露光領域に物質をデポジットし、露光されていない材料を除去し、そして、新しい感光材

法。

(54) 請求項53に記載の方法に於いて、芯出し及び位置決めグレーティングリングのバンドを基準リングと複数プラトーリングの間に形成するステップを更に含む方法。

(55) 請求項54に記載の方法に於いて、基準リングと芯出し及び位置決めリングはクロム材料で構成され、そして、複数プラトーリングより小さい半径の領域にクロム材料の更なる基準リングの組を設けるステップを更に含む方法。

(56) ブレーズド・グレーティング位相レンズを作る方法であって、

光透過平面素子上にフォトレジスト材の層を作るステップ、

該フォトレジスト材の上に複数の最初のトラックの像を形成するステップ、

該平面素子上に所与の差分高さの最初のトラックを形成するステップ、

フォトレジスト材の最初の層を除去するステップ、そして、

を置くことにより始まるこの手順を繰り返すことにより与えられる方法。

(50) 請求項40に記載の方法に於いて、層は基板材の除去により定められる方法。

(51) 請求項50に記載の方法に於いて、感光材を置き、該感光材上にトラックパターンの照射を行い、照射後、該感光材の非露光部を除去し、所与の深さまで基板をエッチングし、次の感光材の層を作り、繰り返して、照射、エッチング、除去の段階を繰り返す工程により、連続的に層が取り除かれる方法。

(52) 請求項40に記載の方法に於いて、不透明物質でコートした基板を初めに用意し、基板上に基準トラックを設けるため、該不透明物質の決められた部分を取り除き、その後、該基準トラックを基準として層形成されたトラックを設ける方法。

(53) 請求項52に記載の方法に於いて、基準トラックは、複数プラトーリングが、該基準トラックと同心に円形状に配設される中心領域の外側に、反射リングの円環状パターンに配設される方

同様の手順を用いて、所与の差分の高さになるまで二値的な形で変化し、増加的に変化するつながり形成するため累加的な形で選択的に重なる、差分高さの連続トラックを該平面素子上に形成するステップを含む方法。

(57) 請求項56に記載の方法に於いて、像は個々のフォトマスクを通して照射することによって形成される方法。

(58) 請求項57に記載の方法に於いて、トラックは同心円であり、像は平面素子を回転しながらフォトレジスト材の上にトラックを動的に書き込むことによって形成される方法。

(59) 請求項56に記載の方法に於いて、平面素子の決められた領域に、最初に基準パターンを書き込み、該基準パターンを基準として連続トラックの像を形成するステップを更に含む方法。

(60) 請求項59に記載の方法に於いて、基準パターンはトラックに対する位置の反対側の任意の限度内で選ばれた位置に書き込まれ、トラックは同心リングの形であり、基準パターンからトラッ

特開平2-1109 (41)

クの中心と、該中心に対する半径方向のトラック位置を決めることによりシステムを構成するステップを更に含む方法。

(61) 高解像結像のためのシステムであって、

臨界開口を有する光学システム、

該光学システムを透過する所与の波長の実質的に単色な光源手段、

調整された合成波長を与えるため該光学システムを透過する第1の波長の光に、空間的に分布して変化する(光)波の遅延を与えるための、該臨界開口に置かれた第1の透過グレーティング構造を含み、更に、該第1の透過グレーティング構造から離れてある第2の透過グレーティング構造を含む光屈曲手段、そして、

照明される対象物のアライメントのため該第2の透過グレーティング構造を照明する第2の波長の、第2の単色光源手段、

を含むシステム。

(62) 請求項61に記載のシステムに於いて、第1の透過グレーティングパターンは光屈曲手段の内

(65) 光学システムに於いて用いられ、断面領域の全体に渡り、実質的に単色な照明光の異なる領域の成分に、選択的に位相遅延を与えるためのプレートであって、

複数の光屈曲リングをその上に有し、ベースとなる球面屈曲特性を定める実質的に平坦な光透過基板、その各々が該基板の名目上の表面に対し一連のプラトーにより定められるリング、入射単色光の光学的遅延の長さに関係した増分で高さが変わり、その最大高さが1波長或いはその整数倍より小さいプラトー、リングの中心軸に対して幅が非線形に変わり、10ミクロンのオーダーの半径方向最少傾を有するリングを含むプレート。

(67) 請求項66に記載のプレートに於いて、そのリングは基板上にデポジットされた光透過シリカ層により定められるプレート。

(68) 請求項66に記載のプレートに於いて、プラトーは名目上の基板表面から除去された、深さの異なる層により定められるプレート。

(69) 請求項66に記載のプレートに於いて、プ

郎領域の複数の同心トラックにより定められ、第2の透過グレーティング構造は該内部領域のまわりに配置された円環状パターンであるシステム。

(63) 請求項62に記載のシステムに於いて、第1及び第2の透過グレーティング構造が各々、透明基板上の、一連の高さの変化するプラトーによって各々定められる複数の同心トラックリング、を含むシステム。

(64) 請求項63に記載のシステムに於いて、第1の単色光源手段は紫外線領域で動作し、第2の単色光源手段は赤の(波長)領域で動作し、該第2の単色光源手段と第2の透過グレーティング構造は、該第1の光源手段と第1の透過グレーティング構造により定められる像に対し精密に収束した参照ビームを対象物面にて与えるシステム。

(65) 請求項64に記載のシステムに於いて、光学システムは第2の光源手段からの光を、第2の透過グレーティング構造の直径に対応した直径の円環状の瞳に成形するための、光路に沿って配置された非球面的手段を更に含むシステム。

レーターのベース球面特性は、実質的に単色な照明ビームの周波数に於いて、該プレートと組み合わせる屈折光学システムの色分散を補償するよう選ばれたプレート。

(70) 請求項66に記載のプレートに於いて、そのリングは1つより多いゾーンを有する瞳機能を決めるよう組に配置され、その組み合わせが、システムの焦点深度を効果的に増すプレート。

(71) 請求項70に記載のプレートに於いて、一連のリングの組の中のプラトーのつながりが、隣り合ったリングの組を通過する波面の位相の間のある決められた関係を成立させるよう変化し、以て、瞳機能が与えられるプレート。

(72) 請求項71に記載のプレートに於いて、つながりは π の位相の形で中断されるプレート。

(73) 請求項66に記載のプレートに於いて、リング・パターンは選択的に配置された少なくとも強度的部分的には不透明なリング領域により分離されるプレート。

(74) 請求項73に記載のプレートに於いて、該プ

特開平2-1109 (42)

レートが、少なくとも2つの π の位相関係にある
 隠機能を決める透明パターンを有し、隠を決める
 リングパターンの少なくとも1つは、少なくとも
 強度的部分的には不透明であるようなプレート。

(15) 請求項88に記載のプレートに於いて、その
 基板は透明リング・パターンの外側に第1の円環
 状基準パターン、そして該透明リング・パターンの
 内側に第2の円環状基準パターン、

を含むプレート。

(16) 請求項15に記載のプレートに於いて、円環
 状アライメント・パターンは基板上に複数のクロ
 ム・リング、

を含むプレート。

(17) 光学システムに於ける、分布した単色ビー
 ムの微細構造の位相補正のための光透過性構成要
 素であって、

幅の変わる多数の複数プラトー・リングを有す
 る光透過性物質のベース、該単色ビームの波長に
 て、わずかの(光)波の遅延量を与えるようリン
 グ内で累進的に変化するプラトー、

通過する第2の波長の単色光波エネルギーの
 局所波面の位相を選択的に遅らせるため、増加
 的に高さの変わる一連のプラトーにより各々が定め
 られる第2の複数リングを含む中間部分、そし
 て、

グレーティングを定め、透明、不透明と順次変
 わる複数のリングを有する少なくとも1ヶ所の基
 準部分、

を含み、

すべてのリングは中心軸に関して同心である構成
 要素。

(82) 請求項81に記載の構成要素に於いて、第1
 の複数リングは、紫外領域の光の局所波面に選択
 的に位相遅延を与えるため、厚さと幅の寸法が決
 められ、個々のプラトーは該紫外光の波長の一定
 の分数倍ずつ変わる構成要素。

(83) 請求項82に記載の構成要素に於いて、透過
 領域の第2の複数リングの厚さと幅は赤の領域の
 光の局所波面を変化させるよう決められ、少なく
 とも1ヶ所の基準部は決められた光屈曲パワーを

を含む構成要素。

(18) 請求項17に記載の構成要素に於いて、リン
 グは中心軸に関して同心であり、異なるゾーンを
 持つ隠機能を決めるため、位相関係の変化する組
 の形に配置される構成要素。

(19) 請求項18に記載の構成要素に於いて、リン
 グは5°を超えない入射ビームの最大曲げ角を与
 え、リングにより生ずる合計の局所領域の遅延は
 波長に比例して整数倍であり、直径5" (イン
 チ) の隠に対し約800 を超えるリングがある構成
 要素。

(80) 請求項19に記載の構成要素に於いて、局所
 領域の(光)波遅延は最大約1波長分であり、リ
 ングは、幅が最小約8ミクロンである構成要素。

(81) 光透過性の構成要素であって、

通過する第1の波長の単色光波エネルギーの
 局所波面の位相を選択的に遅らせるため、増加
 的に高さの変わる一連のプラトーにより各々が定め
 られる第1の複数リングを含む内側部分を有する
 光透過性基板、

有し、半径方向に分離されたアライメント・グ
 レーティング・リングのバンド、基準リングの最
 外周の組、及び基準リングの最内周の組を含む構
 成要素。

(84) 請求項83に記載の構成要素に於いて、基板
 はベース高さレベルを持ち、リング内のトラック
 は単色光の波長を該基板の屈折率で割ったものの
 約1/8 に等しい最大高さを有し1/8 づつ変化する
 個々のプラトーを定め、名目上のトラック毎に8
 つのプラトーがあり、プラトーの連続性が紫外光
 領域にて少なくとも2のゾーンを有する隠機能を
 与えるため π の位相の形で中断される構成要素。

(85) 請求項84に記載の構成要素に於いて、紫外
 透過領域は少なくとも3つのゾーンを用いた隠機
 能を有し、少なくともいくつかのトラックは、そ
 の場所に於ける局所波面に光遮蔽を施すため部分
 的に不透明である構成要素。

(86) 臨界開口に置かれ、単色光に対し選択的に
 光屈曲パワーの変わる一連のグレーティングパ
 ターンを有する透過グレーティングプレートを用

特開平2-1109 (43)

いて、高解像レンズシステムの個々のレンズ素子の芯出しと位置決めを行う方法であって、

透過グレーティング・プレートをシステムの臨界開口位置に位置決めするステップ、

第1の光学素子に適合する光屈曲特性を有する該グレーティング・プレートの第1の領域にコリメート光を通過させるステップ、

該グレーティング・プレートの決められた領域と該第1の光学素子を通過する光の第1の集光点を見ながら該第1の光学素子の位置決めを行うステップ、

第2の光学素子をレンズ組立体の概略名目位置に置くステップ、

該第2の光学素子が芯出しと軸方向の位置決めをなされる時、光軸上の該第1の集光点に集光させるため、第1のレンズと第2のレンズの累加特性に適合するよう決められた屈曲パワーを有する該グレーティング・プレートの第2の領域にコリメート光を通過させるステップ、そして、

次々とレンズ素子が加えられるに従いグレー

ティングの異なる領域を照明する手順を繰り返すステップ、

を含む方法。

(87) 請求項86に記載の方法に於いて、透過素子は複数の同心リングの組を定め、各々のリングの組は1つあるいはそれより多いレンズ素子の決められた組み合わせに適合するよう特性を与える方法。

(88) 請求項87に記載の方法に於いて、光軸上の第1の集光点に小さな衝突を置くステップ、光軸上の第2の集光点に集光させるため、該衝突と前もって位置決めされた光学素子を通して、透過グレーティングプレートの、該グレーティングプレートの反対側の第1の光学素子の光学特性に適合するよう決められた屈曲パワーを有する、別々の決められた領域を、反対から照明するステップ、反対側の別々の光学素子に対し、該グレーティングプレートの別々の決められた領域を使ってこの手順を更に繰り返すステップ、

を含む方法。

(89) 光路中に補正用平面位相レンズと屈折レンズを含む組み立てられ統合された光学的構成体を作製する方法であって、

最外周の基準パターンと、平面位相レンズの中心軸と同心のいくつかの異なる光屈曲領域を有する隣接したグレーティング・パターンを形成するステップ、

該基準パターンを基準として用い、該平面位相レンズ上に少なくとも一つの組の同心位相補正リングを形成するステップ、

該平面位相レンズ上の所与の光屈曲領域と第1の屈折レンズを照明することにより、光軸に沿って該第1の屈折レンズの位置決めと芯出しを行うステップ、

該平面位相レンズ上の異なる光屈曲領域を用いて、一連の屈折レンズの位置決めと芯出しを行うステップ、

を含む方法。

(90) 請求項89に記載の方法に於いて、異なる光屈曲領域は、異なる個々のレンズ組み合わせの累

加的な屈折を補正する光屈曲角となるよう設けられる方法。

(91) 請求項90に記載の方法に於いて、平面位相レンズの第1の側にある屈折レンズの照明は第1の集光点を与えるべくコリメート光でなされ、第2の側にある屈折レンズの照明は該第2の側に第2の集光点を与えるべく、該第1の集光点の位置の点光源から該第1の側のレンズと該平面位相レンズを通してなされる方法。

(92) 各々が、高さの増加的に変わる微細プラトーのグループにより定められる複数リングを有する基板を作製する方法であって、

該基板を名目上の中心軸に垂直な平面で回転させながら外側の一連の基準リングを与え、該基準リングを設定している間の回転軸が、システムによって設定されるプラトー・トラックに対して基準軸となるステップ、

該トラックが設けられるべき基板の表面をフォトレジスト材で被うステップ、

大よその名目上の位置に、芯出しされていない

特開平2-1109 (44)

形で該基板を載せるステップ、

該基板が載せられた平面で回転している時、ある固定された点に対する該基準リングの偏心を検知するステップ、

一定間隔離れた領域にて、フォトリソスト材で液わたれた該基板上に細いビームを向けるステップ、

該基準リングにより決められた中心からの 0.5 ミクロンより小さい振れの精度を与えるため、基準リングで検出された偏心によって該ビームを横方向に偏向するステップ、

露光されたパターンに従って第1のプラトー・レベルを与えるために、基板の除去と処理を行なうステップ、

第2のフォトリソスト層で基板を再び被い、それを名目の位置に再び載せ、その後、偏心変動を補正するため横方向の再調整を行い、続いて、このように露光された光パターンに従って第2のプラトー・レベルを作製するステップ、そして、必要な数のプラトー・レベルが設けられるまで

該スピンドルが回転している時、該平面構成要素の同心性からのずれを示す制御信号を作るため、該平面構成要素上の該表面基準パターンに隣接して置かれた検知手段、そして、

該スピンドル上の該平面構成要素の芯位置精度より高精度にパターンが描かれるべく、該制御信号に応じ該検知手段に対し該基準方向に沿って該平面構成要素上での書き込み位置を変えるための、該搬送手段と該ベースを別々に該検知手段と該書き込み手段に機械的に結合する手段、

を含むシステム。

(95) 請求項94に記載のシステムに於いて、回転可能なスピンドル手段は搬送台手段の中で回転するように結合され、機械的な手段がパターン書き込み手段とベースを結合し検知手段と該搬送手段を結合するシステム。

(96) 請求項94に記載のシステムに於いて、回転可能なスピンドル手段はベースの中で回転するように結合され、機械的な手段は、一緒に動くようパターン書き込み手段と搬送台手段を結合し、ま

この手順を繰り返すステップ、

を含む方法。

(93) 請求項92に記載の方法に於いて、プラトーレベルの増分は、異なったプラトーレベルが累加的なステップの2値的な和として与えられ得るよう、1、2、4の順で累加的に変わる方法。

(94) 平面構成要素上の基準位置に関して同心の高精度パターンを書き込むためのシステムであって、

該基準位置に関し同心の表面基準パターンを有する平面構成要素、

大よそ芯出しされた位置に該平面構成要素を係止するための上表面手段を含む回転スピンドル手段、

安定なベース、

該ベース上に移動できる形に搭載され、該平面構成要素の面内で、基準方向に位置をずらすための制御信号に応答する手段を含む搬送台手段、

該平面構成要素の面に隣接し決められた書き込み領域に置かれたパターン書き込み手段、

た検知手段とベースを連結するシステム。

(97) 請求項96に記載のシステムに於いて、スピンドル手段の上表面手段は水平であり、ベースは該スピンドル手段を回転できるように保持するための第1の空気軸受け手段を含み、第2の空気軸受け手段は搬送台手段と該ベースの間に配置されるシステム。

(98) 請求項98に記載のシステムに於いて、平面構成要素は感光面を有し、パターン書き込み手段は該平面構成要素の表面に当たる細い光ビームを定める手段を含み、書き込み位置を変えるための手段はビーム偏向器を含み、表面基準パターンは少なくとも1つの基準リングを含むシステム。

(99) 請求項98に記載のシステムに於いて、表面基準パターンは複数の同心基準リングを含み、検知手段は透過度が周期的に変わる基準パターンを含む光検知手段を含むシステム。

(100) 高精度で基板上に同心円を与えるためのシステムであって、

回転可能な構成要素を受けるための凹部を有

特開平2-1109 (45)

し、第1の水平基準面と第2の垂直基準面を含む安定なベース、

該ベースの該第1の基準面上で支えるための第1の空気軸受け手段と、該回転可能な構成要素の位置に対し半径方向にある該第2の基準面に対してエアースリッド手段を関係させるための第2の空気軸受け手段、

エアースピンドル駆動手段を含み、該ベース手段の凹部に置かれ、該ベースに対し支えるための空気軸受け手段を含み、該基板を受けるため上部水平面と、該水平面上にある該基板の2軸の大よその調整を行うための周辺手段を有するエアースピンドル手段、

該第2の基準面方向に沿った該エアースリッド手段の位置を検知するための干渉計手段と、該干渉計手段により検知された位置に応じ該第2の基準面方向の該エアースリッドの位置を制御するためのサーボ制御されたアクチュエーター手段を含む手段、

該エアースリッド手段に搭載された、該エア-

よう空気軸受けによって該安定な基準構成要素の上に搬送台手段を支えるための手段を含む搬送台手段、

垂直軸のまわりにエアースピンドル手段を回転する手段と、該基準構成要素に対し該エアースピンドル手段が回転している間、該基準構成要素に対し実質的に固定された垂直中心軸位置に該エアースピンドル手段を支えるための手段を含むエアースピンドル手段であって、該第1の軸は該エアースピンドル手段のある半径方向に該水平面に於いて実質的に平行であるエアースピンドル手段、

決められた中心軸に同心の基準パターンのある平坦な表面を有する対象素子、

該平坦な表面を水平にして該エアースピンドル上に上記対象素子を初めに位置決めするための、周辺位置出し手段を含む手段、

回転の間、上記対象素子の基準リングパターンの位置を検出するため該安定な基準構成要素に搭載される手段、

スレッド手段の位置に応じ該基板の表面のトラック位置に実調された光ビームを向けるための書き込み手段、

該エアースピンドル手段上の該基板の位置にตอบสนองし、任意に置かれ大まかに調整された基板での偏心変動を該エアースピンドルの回転の間、検知するための手段、

そして、

検出された該偏心変動にตอบสนองし、偏心変動を補正するため、該基板上に書き込む前に該第2の基準面に平行な方向に該書き込み光ビームを偏向するための手段、

を含むシステム。

(101) 対象素子上で所望のトラック位置に対しての精度及び偏心が約 0.1ミクロン以内の高精度な同心トラックを書き込みのためのシステムであって、

水平基準面と垂直基準面を有する安定な基準構成要素を与えるための手段、

該水平面内の第1の軸に沿って移動可能となる

該搬送台手段を所与の向きで横方向に、上記素子上の決められたトラック位置へ移動させるため、該搬送台手段に結合される手段、

該素子の表面にビームを向けるため該搬送手段に結合され、ビーム偏向器を含む手段、そして、

回転の間の、真の回転軸に対する上記素子の偏心変動を補正するための該偏向器手段を制御するため、該対象素子の回転の間、該基準リングの第2の位置の変動にตอบสนองする手段、

を含むシステム。

(102) 請求項101に記載のシステムに於いて、基準リング・パターンの位置を検知するための上記手段は、決められた対象面に該基準リングの像を結像するための手段、該対象面で周期パターンを有する焦点板手段、そして該基準リングと該焦点板の合成像を検知するための光検出器手段を含み、偏向器手段が、搬送台手段の移動方向に平行な方向に沿って書き込むビームを偏向するシステム。

特開平2-1109 (46)

(103) 正確な像となるよう基準の印を有する対象物の位置決め及び照射をするためのシステムであって、

いくつかの屈折光学素子と、光路を通過する第1の波長に光の波面の補正のため決められた第1の波長の光に応ずる第1の領域を有する光エネルギー透過素子を光路中に含み、該補正素子が該対象物上にビームを収束するための、決められた第2の波長に応ずる第2の領域を含む光学システム、

波面が補正されたビームで、該光路を経て該対象物を照射するための第1の波長の光源手段、

収束ビームで該透過素子の該第2の領域を経て該対象物を照射するための第2の波長の光源手段、

該対象物上の基準の印に対する該収束ビームの位置を検知するための手段、そして、

該対象物と結合され、該対象物の位置を制御するため、該検知するための手段に応答する手段、を含むシステム。

の、複數ブラトーリングの複數を含む光屈曲手段、そして、

該対象物の該基準となる印に対する収束ビームの位置を検知し、該位置決め手段のための制御信号を作るための検知手段、

を含むシステム。

(107) 請求項106に記載のシステムに於いて、該対象物は表面にフォトリソト材を有する半導体ウェーハを含み、光屈曲手段は位相補正領域を含み、そしてシステムは更に第1の波長の光エネルギーを該位相補正領域を経て該フォトリソト材に向ける手段を含むシステム。

(108) 請求項107に記載のシステムに於いて、システムは、所与の断面領域内に置かれ第1の波長の光エネルギーのための光路を含み、光屈曲手段は上記所与の領域のまわりに配置され、システムは更に、該光屈曲手段を経て該第2の波長の光の円環状ビームを配向するための手段を含むシステム。

(109) 第1の波長の像となるべく照射される該第

(104) 請求項103に記載のシステムに於いて、透過素子の第1の領域は中心軸に対して同心の複數ブラトー・リングの中心領域を含み、第2の領域は該中心領域のまわりに該中心軸と同じく同心の複數ブラトーリングの内環状領域を含むシステム。

(105) 請求項104に記載のシステムに於いて、第1の波長の光源は紫外領域で動作し、第2の波長の光源は赤の領域で動作し、対象物は多くの像パターンを形成するための感光材面上に基準マークを有する半導体ウェーハであるシステム。

(106) 第1の波長の光エネルギーに感応する感光材面と、相対的位置関係の基準となる印を有する対象物を位置決めするためのシステムであって、

2つの直交軸にて該対象物の位置を合わせるための制御信号に応答する位置決め手段、

該対象物に照射するための、第1のとは異なる第2の波長の光エネルギーを与える手段、

該第2の波長の光エネルギーの経路に置かれ、該対象物上に該光エネルギーを収束させるため

1の波長の光エネルギーに感応するフォトリソトが塗布され、基準の印を含む半導体ウェーハの位置決め、と照射を行う方法であって、

第1のとは異なる第2の波長の収束ビームでウェーハを照射するステップ、

収束ビームの該基準の印に対する位置を検知するステップ、

検知された位置に応じて該ウェーハの位置決めを行うステップ、そして、

像を形成する該第1の波長の光エネルギーで該ウェーハを照射するステップ、

を含む方法。

(110) 請求項109に記載の方法に於いて、収束ビームで照射するステップは円環状ビームの形成を含み、該円環状ビームはある決められた角度での屈曲により収束され、ウェーハは該円環状領域内の領域を経て配向される第1の波長の光エネルギーで照射される方法。

3. 発明の詳細な説明

(発明の背景)

特開平2-1109 (47)

電子ビームあるいはX線に代表される原子粒子物質に基づいた高解像システムのような他の技術が利用できるにもかかわらず、半導体工業で用いられる光リソグラフィシステムや幅広い応用に用いられる顕微鏡システムに於けるように高解像結像システムの応用は続いて増えている。電子ビームやX線のシステムは像形成に長い時間を要する他、膨大な費用を要し、操作性も悪く、予見できる将来の多くの応用に対しては、光結像方式がなお好ましいものとして残ることを確実にしている。

しかし、より精密な技術に対して常に増している要求により、光結像方式が屈折光学系によって達成できる解像値の限界に実際上達してしまった。たとえば、高密度大規模集積回路の大きさは常に小さくなり、より高い素子密度で作られている。その一つの客観的目安は最小線幅の仕様である。最近まで1ミクロンの線幅で適当であったのが、産業界の現在の目標は0.5ミクロン以下更には、0.3ミクロン以下とサブミクロン領域の線幅

の精度を扱う時に、製造に於ける固有の制限もある。例えば、最高のダイヤモンド旋削手段をもってしても、短波長での動作に対しては非常に荒い光学表面となってしまう（たとえば、紫外）。

しかし、半導体産業では光結像方式に基づいた多くの生産及び検査手段を考案してきた。また、今後もこれらを利用するのが好ましい、というのはこれらの手段が特別な利益を提供するからである。例えばシリコンあるいは他のウエーハの上に積み重なった層を作る際、高解像屈折光学系を取り入れた“ウエーハステッパー”が利用される。作られるそれぞれの層に対し、異なった高精度のフォトリソマスクがある。最初、ウエーハは適量の光エネルギーで露光することにより像が、そこで定着され得るようなタイプの感光材料の層でおおわれる。そして、ウエーハステッパーの機種によりウエーハは光軸に対してえらばれたマトリクス位置に正確かつ連続的に置かれる。ウエーハ上のマトリクスパターンでのおおのこの位置で、代表的には像がある値（普通は5分の1あるいは10分

にまで下がってきている。これは1ミリメートルに数千本のオーダーの線解像を屈折光学システムに要求するが、適当なアパーチャと焦点深度を持つ光結像システムでこれまで達成不可能であった。

これらの問題に答えて、光学産業界ではすぐれたレンズ設計電子計算機プログラムを用いて、もっと精巧な多くの枚数のレンズシステムをだんだんと考案してきた。その進んだ技術水準は、“1線”と呼ばれるレンズシステムによって例証される。この“1線”レンズシステムは最高品質のガラスからなるおよそ二十枚の屈折要素を複合的に配置することを利用している。しかし、このシステムが達成できる最高の結果は0.7ミクロンの線解像の範囲にある。これは複雑なレンズ設計に伴う多数の要因（色収差、コマ収差、非点収差、球面収差が含まれる）及び目標地点で十分な均一性と適当な波動エネルギーを実現するという問題により、現在約0.7ミクロンと言う最終的な限界に置かれているからである。このオーダーで

の1)だけ縮小する光学システムでフォトリソマスクを通じて露光が行なわれる。このタイプのシステムに対する本来の要求は個々の露光で光エネルギーが適当であること、露光された像は全像面において均一であること、そして焦点深度が十分に、解像力が設計仕様を満足することである。これらの要求を同時に満たすのは易しいことではない。というのは、像の大きさが極めて小さいことと極めて高い精度が要求されることから可能な設計の選択余地が大きく制限されるからである。いったんマトリクスのすべての位置で露光が行なわれ、定着されていない物質が洗い落とされると、像再生の精度と均一性について像の検査が可能となる。統計的な基礎の上に、いろいろな像の性質を調べるのには一般に光学顕微鏡が利用される。検査は、線幅あるいは他の特性の自動あるいは手動測定を含む作業の組合せの一つあるいはそれ以上より成るであろうが、これらの作業のすべてには像の正確かつ高解像の拡大が必要である。

特開平2-1109 (48)

実際に利用するもっと高い解像の光結像方式を作るという問題はすでに限界に近づいたと見える。もっと複雑な多数枚のレンズシステムをもってしても、そのような限界が最終的に乗り越えられないとわかるかどうかは今後に残っている。しかし、光結像システムを設計と生産での束縛から解放できるような大幅に異なるアプローチが必要となったように思える。その束縛は光学設計の方程式に含まれる多くの高次の項をうまくまとめるに際し本来的に課されている。何年か前に、レンズシステムに特別な性質の非球面素子が入られるべきだという提案によって、この方向での試行的な動きがあった。これらの提案は宮本健郎 (Kenro Miyamoto) が書いた「位相フレネル・レンズ」というタイトルの論文で最もよく述べられている。これは米国光学協会 (Optical Society of America) の1980年11月での学会で発表され、またその後すぐに、ジャーナル・オブ・ジョプティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ (Journal of the Optical Society of

America) 、1981年1月、17～20ページに掲載された。宮本はまたその論文で理念的に同類の以前の論文を参照している。彼が基本的に提案したのは、「位相フレネル・レンズ」を、例えば、球面収差を補正するように、そこを通る波面を変形させるべく、光学システムの瞳面に置くということである。彼の提案は全く一般的なものであり、高い透過率、半導体工業のニーズにアプローチするような高い解像、あるいは適当な焦点深度を得るというような問題に対しては何の考慮も払われていなかった。一つの例をあげると、宮本は0.83ミリの最小半径寸法を持つ単層薄膜リングの利用を提案した。もっと精密なシステム、すなわち、ブレース型透過グレーティングを作るのに関わる困難に関しては言及していない。

宮本は次の量だけ波面を変形させるべく、位相フレネル・レンズを作ることができると述べている。

$$\phi(u, v) = (k-1)\lambda$$

ここで、 $k=1, 2, \dots, m$ で、すべてのゾーン

で変形の量が入り小さい。これはいろいろの輪帯に(単層)薄膜をつけることによって実現される。そして、彼はこのように変形された波面は波面を $\phi(u, v)$ の量で変形させるレンズと「まったく等価」とであると述べている。

彼の方程式は完全なブレース位相グレーティングを記述し、しかも単層薄膜を用いるという彼の方法の記述は、また「位相反転ゾーン・プレート」とも呼べる二値的な位相グレーティングの創作に導く。このタイプのグレーティングはただ位相遅延の二つの値の間での交番を与えるようにはたらくだけである。

「ゾーン・プレートと移動ゾーン・プレートの効率」という論文 (Applied Optics, Nov. 1987, pp. 2011-2013) の中で Melvin H. Horman により位相反転ゾーン・プレートは研究されている。Hormanはゾーン・プレートあるいは位相プレートの効率を「照明光波面における光束の主像 (principal images) に到達するパーセンテージ」として定義し、そしてこの定義を用いて彼は位相

反転ゾーン・プレートの1次効率40.5%を与えた。Hormanは、もし位相フレネル・レンズができたとしたならその効率が100%に近づくだろうことを示した。しかし、この間、よく補正された光学系と一緒にとはたらく高効率の位相フレネル・レンズの製作は明らかにまだ試みられておらず、また報告もされていない。マイクロレンズとして独立に用いられる三角系プロファイルのプレートがある応用に対しては作られている。

宮本の提案はレンズ設計に対しより大きな自由度を与えるものと認められるが、文献から知る限り、それはまだ実施されていない。これは、導かれる利益に関して考えられている制限、書かれている形での位相フレネル・レンズ製作のむずかしさ、屈折光学素子だけを利用する光学設計での他の進歩、問題に固有なより更に複雑な要因に対する認識の不足といった理由のいくつかによるものであろう。例えば、グレーティングのブレース角で入射した光の平行成分と垂直成分の間での効率には相当の違いがあり得る。また、宮本は、個々

特開平2-1109 (49)

のスペクトル成分の時間コヒーレンスが位相フレネル・レンズの解像あるいは空間・バンド積(space-bandwidth product)を維持する面で重要な役割をはたすことを認識、少なくとも議論することをしなかった。この後は、波面収差の操作に於いて波面の成分分布、照明エネルギーの正確な分布、位相関係の局所的、時間的、空間的な再配列等の要素をうまく考慮することにより、屈折レンズと一緒に組み込んだ形で、光結像あるいは光読み出しシステムの解像を有用な焦点深度、高い効率と共に、以前は達成できないと考えられていたレベル以上に向上させ得るということが示される。

位相グレーティングと光学屈折素子を組み合わせたことにより達成される高解像光結像または読み出しが依拠する原則と同じ原則が他の光学応用にも利用できる。この応用には、顕微鏡検査とOTF(光学的伝達関数)、球面対物レンズと組み合わせた円すいアキシコン位相グレーティング、従来の円柱レンズと組み合わせた円柱形位相グレー

ティング、そしてトロイダル非球面グレーティング・レンズを含む。円すいアキシコン位相グレーティングは光学屈折素子と組合せに於いて、特に有用であり、オート・フォーカス・システムを要せず、光ディスクを書き込み及び読み出し素子として所望の長さの細い光線を提供する。システム設計に於いて、位相プレートの特有なスペクトル特性が認められ説明されるならば、屈折光学系の限界がどこで来ようとも、波面収差を精密に補正する能力というのは、いいかえると、潜在的な有用性となり得る。

(発明の概要)

本発明によるシステムと方法では屈折光学系の配列の中に、少なくとも1つの、ホログラフィックに場所的に配置された透過グレーティング素子が置かれ、この素子の1つは一般に、臨界開口(critical aperture)にある。グレーティング素子と他の素子は、増加的に変化する位相遅れを起こすよう多数に分布した空間的インコヒーレント、時間的コヒーレントな光源により単色で照明

される。これらの増加的な変動は照明フィールド全体にわたり制御された形で非線形的に変わり、ある特定の収差を補正する合成波面を形成する。光学結像システムでは、補正は屈折光学系に於ける予定された球面収差のためだけでなく、予定された色収差のためでもある。波面の遅延は波長の何分の一かの増分ずつ変化し、高回折効率を与える、複数のブラトーにより定められた部分よりなる透過グレーティングにより生じる。その部分の場所的な構成は、相互に関連した多くの瞳を作るよう波面成分の相互作用を変えるため、位相反転、透過率変化を含むこともある。この相互に関連した瞳の合成の効果として、例えば焦点深度の増大、コントラスト、解像の改善が考えられる。

結像システムの一つの一般的な例に於いて、単色光光源、拡大されたビーム領域全体でビームを一様に分布させる手段、空間的コヒーレンスを効果的に取り除き、ある決められた最小以上の光波の時間的コヒーレンスを形成する手段を含む一つの照明系が用いられる。この例での位相プレート

は一つの透過素子を含む。この素子は多数の同心リングがあり、おのおののリングは波長の何分の1かの増分ずつ変わる複数ブラトーがあつて、リングのブラトーは局部波面に小さい角度の曲げを与える。位相プレートは屈折光学系の臨界開口(critical aperture)に配置され、設計は位相プレートと統合されて行なわれるため、手順が簡単になる。例えば、屈折光学系はコリメーターレンズ部分と対物レンズ部分を含むことになるが、標準的には、そのシステムに対し、既知であるがしかし全体としての制限内にある許容できる収差しかもたないよう相対的に少ない素子板で設計される。位相プレートはマイクロリングラフィー技術によって、各個のリング内で連続的にブラトーの高さが変わる形で半径の変わるリングを与えるように作られる。違うリング・グループでのブラトーの段の関係を定めることにより、位相プレートの異なる区分を通る光波の位相関係がいくつかの瞳を形成させるように選択的に反転される。一部分のリングあるいはリング・グループはある傾

特開平2-1109 (50)

域から来た光が遮蔽あるいは減衰されるように、不透明あるいは部分透過であってもよい。こうすると、複数光源からの照明光の空間的分布と位相関係は屈折光学系に於いてはやむを得なかった収差を打ち消すように、再び構成される。このシステムと方法によって1ミリメートルあたり2,500本のオーダーでの解像、高い透過率、深い焦点深度、そしてすぐれたコントラストが得られる。このシステムに利用される屈折光学系は大幅に少ない素子数しか要求しないだけでなく、また球面収差と色収差のような特殊な特性に対して、設計手順にもっと大きい許容度を持たせることができる。

高いビーム強度、強度分布の均一性及び色消しを得るのに半導体製造に対してはパルス・レーザが好ましい照明光源である。しかし、強度分布、フィルタリング及び色収差の問題を克服するための従来の方法と組み合わせて水銀アーク・システムのような他の光源を利用することもできる。

この発明の更なる特徴によれば、ある一つの例

相プレートのプラトー領域の最大厚みは約0.144ミクロンに制限され、各個プラトーは、最も狭いリングのところではわずか1.5ミクロンのオーダーの幅となる。波面 (Wavelets) での時間的コヒーレンスは複数プラトー領域によって生じる最大位相遅れより50倍かそれ以上の大きさで維持される。

この発明に沿ういくつかの異なるシステムにより、この概念の汎用性が示される。例えば、顕微鏡システムに置いて照明系から被検物へ向かう光は、臨界開口 (critical aperture) の所に置かれ、被検試料上のカバープレートにより生じる球面収差と共に、システム内の屈折素子による収差を補正する位相板を用いて、従来以上の高い解像で結像される。アキシコンタイプのシステムでは、発明による位相プレートは、表面波を円すい形焦点にもって来るべく、一つかあるいはそれ以上の球面素子と一緒に作用するように形成される。収束波は光軸に沿って、アキシコンの設計の特色をなす比較的長い針状の光を作る。円柱レン

として照明系は、248nmのような紫外線領域で動作するエキシマレーザとエタロン同調キャビティの組み合わせを含む。これは50,000の波を越す時間的コヒーレンスがある光エネルギーのバーストを与えるものである。照明光エネルギーのバーストは一對の離れて配置されたランダム位相板と、中間のビームシフト装置を含み、フォトマスクあるいは物体面上に統計的に均一な形で空間的インコヒーレントな複数光源を分布させる位相ランダムイザーを通過する。位相プレートは1次光の高い透過率を保ちつつ、3'のオーダーの光線の曲がりを与えるように構成される。一つの好適な構成としては、位相プレートの一区分内でプラトーの連なりの選択的反転により実現され、互いに位相の反転する部分により定められる6つの(円)帯状の瞳を含む。一つのシステムには一つ以上の位相プレートが配置でき、一つは臨界開口 (critical aperture) に配置され、その他は特定の非球面的特性を与えるよう、ビーム経過に沿って隣接される。248nmの光源を用いる時には、位

ズ・システムでも、もっと高い解像と精度のために、波面補正が同心プラトーではなく、平行プラトーによって行なわれる。

更に、位相プレートが有利なのは、分離した光屈曲グレーティングと基準パターンを与える同心円リングの外側輪状領域を含められることである。結像の波長と異なる波長(例えば赤の波長)のコヒーレントな光は感光性表面に影響を与えずに目標面と投影像とのアライメントに用いられる異なった部分つまりこの外側輪状領域を通過できる。

本発明による位相プレートは、所定の特性のリング・パターンを与えるため、一連の二値的な操作を組み合わせるのが好ましいが、デポジションまたはエッチングの各々の段階に対しフォトマスクを用いるかまたは直接により作られる。例えば、1、2、そして4のプラトー高さに対しデポジション層を定めるべく3回の一連の手順が利用でき、フォトレジストの洗い流し、塗布を3回行う一連の工程により、堆積的に零から7番目のレ

特開平2-1109 (51)

ベルまでの一連のプラトーを与えることができる。各々のデポジション工程に、例えば、予め決められているリングの半径の変化に対し、波長の何分の1かの違いだけ高純度シリカを付加することもある。このように直径が10 cmオーダーでの素子の上に、1つが8つのプラトー・レベルを持つリングが約1,600個ある一つの位相プレートが作られる。この寸法は、近年の半導体製造に要求される大きいウェーハと高い解像をもたらす現在のウェーハステッパ装置に必要な範囲にある。相補的な工程を、即ち、層のデポジションのかわりにエッチングを用いることもできる。

アライメント用に、第2の波長の光源について用いられる外側環状リングも同様に結像領域のリングと同時に位相マスクから記録されるか、あるいは直描で形成される。しかし、波長とそれに伴い要求される層の厚みが違うため外側リングは別々にデポジットされる。

0から18分の15波長までの光学的位相遅延を起こすように一連の0から15レベルまでのレ

ベル、選ばれたレンズ群内のレンズ素子が適当な位置に置かれた時、これらのグレーティングは光軸上に集束ビームを与える。従って、個々のレンズの芯と光軸上位置は、それが組み込まれる際、正確な規準を与えられることになる。

第2の組の反射リングは、始めに、後に続くパターンの中心として働くことになる名目上の軸と同心の外側周辺の組(grouping)として描かれる。分離したトラックが回転システムに於いて位相プレート製作の間、直接描かれている時は、このリング組はフォトマスクに対する、あるいは位相プレートの偏心の補償のための、基準としてはたらく。

サブ・ミクロンの解像を得るために位相プレートの上に複数プラトーを配置することに関して要求される精度は、どんな書き込み技術が用いられようと非常にきびしい要求を課する。これらの要求は中心の近くに第3の反射リングの組を生成し、位相プレート自身を利用することにより満たされる。回転の中心は始めは、限度内で任意に選

べルを与えるため、4つの二値的マスクを用い、一連の18のプラトー高さを作ることによって、グレーティングの上にもう少しなめらかな、そしてもっと効率の高いブレース角が形成できる。同じように、ただ4つのプラトー・レベルを用いれば、特定の応用に対し粗い、効率の低いグレーティングが、かわりに形成できる。

別の回折または反射リングの組が都合よく位相プレート上に配列される。この目的のために、この素子は始めに少なくとも一定の領域に1つのベース(例えば、クロム)層がおおわれる。リングは回転させながら描くことによりあるいはフォトエッチング技術により定められる。

リングのある1組は、レンズの芯出しと間隔出しのグレーティングのいくつかのグループを形成する。これらのグレーティングは異なった個々のレンズ素子あるいはレンズ素子群に関して設けられ、特別に配置される。

コメントされた光線が臨界開口(critical aperture)にあるグレーティングを通過して導か

ばれるが、反射リングを書き込んだ後に、その位置は正確に決められる。これは、各々の反射リングが通過する時、干渉計による(干渉)精測定を行いつつ中心線の両側でリングを走査することによりなされる。同じように内側リングと外側リングを利用することにより、名目上の位置の間でのしまの数から正確な読みを得ることもできる。これらの読みから、その時点に於ける温度、気圧、光速の正確な補正を用いて校正ができ、それにより、リングを1/30ミクロンのオーダーの精度で配置できる。

この発明による、際立って有効な直描システムはベース上の空気軸受にささえられたエアースピンドルを用いる。単一(往復)方向的に移動できる架台が、書き込みレーザービーム用として、制御システムにより、スピンドルに対し、別トラックの書き込み位置まで移動する。

スピンドルに隣接して設置された偏心センサー・システムが外側基準リングの像を一つのパターンの上に投影し、そして位相プレートが正確

特開平2-1109 (52)

に中心に置かれていない時、合成信号中の正弦波状変化を感知する。回転中の芯ずれによる変動を補償するよう、レーザー書き込みビームを偏向させるのに信号変動が利用される。周辺で保持される位相プレートは目視で一ミクロンの範囲内に調節することができ、偏心の補正はこれを 0.1ミクロンあるいはそれ以下にまで減ずる。このシステムは、特定のレンズ組み立て品に対し補正を行うよう、位相プレートを作り得るその精度を、従来のコンタクト転写工程の精度を越えるところまで、向上させる。また、これは、大きな中心出し誤差や累積誤差を生じさせることなくフォトレジスト塗布、処理、そしてデポジションまたはエッチングを行うのに、位相プレートをエアースピンドルの上に置いたり、そこから取ったりできるようにするためでもある。

(実施例)

第1図の、概略的な一般化した表記は、尺度と比率に於いて違いがあるため、システムの大きな要素と、システム内に於ける光波エネルギーの細

き、また、本光結像システムが十分高効率であるため、有益なことに短時間で露光できる。これから列举する、いろいろな要素を適当に考慮すれば、他にも利用できるシステムは多くあるが、このタイプの好適なレーザーが、Lumonics Hyperex - 450 Model HE-SWとして出されている。

レーザー12から出るビームはかなりの程度空間的にコヒーレントであり、820分の1の程度で時間的にコヒーレントである。このファクターは所望の空間的及び時間的な分布と一致しない。したがって、レーザー12は一般にエタロン14と言われる一つの共振同調キャビティと一緒に、このエタロン14はQ値と、124,000波長分ぐらいまで合う光の波速の予期性(Predictability)を上げる。あるいは代わりに、同程度の時間的なコヒーレンスを生じさせるのに、キャビティ内エタロン同調のあるレーザーを使ってもよい。しかし、干渉縞の影響が出る可能性があるため、過ぎた同調は好ましくない。従ってエタロン14は時間的なコヒーレンスを10,000波長分

かな分布及びその空間的配置とを共には、表わして得ていない。他の図も正しい比率で相対的な寸法を裁わせていないが、その特徴と関係をよりよく理解するためには、それら他の図を参照しなければならない。

本システムは、極めて微細な非常に高い解像の像となるべく、フォトレジストを適当に照明するため、ウェーハステッパーのような光結像ユニットに用いるのに好適な形で説明される。ウェーハステッパーの制御、位置決め、オートフォーカス、及び関連技術の詳細は公知であり、簡単のために、ここではそれらに触れない。ある特性のエネルギー源となる光が、紫外領域の248nmでおよそガウシアン分布の矩形ビームを生成するKrfタイプのエキシマーレーザー12を含む照明系10で初め生成される。エキシマー・レーザー12は一秒に約150パルス、パルス幅が 1.2×10^{-8} 秒、そして約375nJ/パルスでパルス発光する。これから示されるように、このシステムは十分な強度の放射光を、像を記録するフォトレジスト層へ導

の程度の範囲まで下げるため、わずかに離調される。このような手直し理由は後程より詳しく説明する。

ビームはレーザー12から出た後エキシマー・レーザー12の長形ビームを一辺が1" (1インチ)の正方形ビームに変える二重プリズム・ビーム・エキスパンダで拡大される。このビームは、SiO₂基板の上にデポジットされたSiO₂の準ランダム・パターンで定められる第一の準ランダム位相面19を含む空間コヒーレンスランダムマイザー(randomizer)18の中に入る。このランダムマイザー18の構造は断面領域に渡って位相のランダム化の度合いを知らせる光透過素子を提供する。このような準ランダム位相面は、平均厚さ約1ミクロン、平均幅約10ミクロンのデポジットされたパターンによって得られる。第1のフィールド・レンズ20はビームを必要ならモータ駆動もできるレチクルマスキング装置22に伝える。マスキング装置22はビームを周辺で、制御可能な大きさの選べる物体面外形に制限し、ビームは以

特開平2-1109 (53)

下に記すように小さな弧状に動的に動かされる可動コーナースpiegel 24へと向かう。このコーナースpiegel 24からビームは結像リレー・レンズ26の方に向けられる。このリレー・レンズは第一の準ランダム表面19の像を似た特性をもつ第二の準ランダム位相表面27に結像する。その後、ビームは第二のフィールド・レンズ29を含む関連光学系に向かい、ビーム結合コーナースpiegel 28を経由し、そして像が向けられるウェーハ平面に行く。この角度のついたビーム経路により、かなりのパワーと体積を必要とするレーザー12を、システムの像形成部分より十分離れたところに置くことが可能になる。

第二の準ランダム位相表面27はより一層のランダム化を行い、すべてのビーム分布領域で空間的な位相のランダム性を有効的に増す。しかし、ランダム性の度合いを変えられることが望ましく、このために、サバール板とソレイユ補償板を用いた部分的コヒーレンス度の測定装置がランダムマイザー (randomizer) 18からのビームのこの

いを変えるために回転速度を少し変えることによって、準ランダム位相面19、27の間での相対的な動きを作ることにも可能である。

結像リレー・レンズ26と第二のフィールド・レンズ29も1:1の関係でレチクルマスキング装置22をフォトマスク平面42に配置されたフォトマスク40の上に結像する。この例に於いて、この平面でのビームはレチクルマスキング装置22によって、適当な露光の許容誤差 ($\pm 0.005^\circ$) で、一辺が1.5インチから4.5インチまで連続的に選択できる矩形に開口が制限される。

空間的コヒーレンスのランダムマイザー (randomizer) 18の重要性は、それがビームの平均ラグランジュ積を増加させるということからより明解に理解できる。エキシマレーザー12から出たレーザー・ビームは約 $1.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ ster}$ に制限されたラグランジュ積を持つ。これは一つの典型的な露光 (約 0.3秒) で、狭帯域化されたエキシマ・レーザー・ビーム中

特性を検知するため置かれる。そのような装置は "準単色光源の像に於けるコヒーレンス度 (S.Majlick, Applied Optics, Vol. 6, No. 8, August 1987, pp. 1403-1405)" と題された論文での報告に従って用意できる。装置36は部分的コヒーレンス度に応じた信号を可動コーナースpiegel 24と結合された PZTアクチュエータ34を動かす制御回路38に返す。測定装置36による部分的コヒーレンスのコントラストの読みによって、アクチュエータ制御38は PZTアクチュエータ34を駆動し、レーザー12から出たパルス・発光の間で、像での小さいが可変的な (60ミクロン程度の) 動きの増分を起こす。これらの発光は一秒に150 - 200回起こり、(1パルスの発光) 時間が短いため、またコーナースpiegel 24は非常に小さな角度で動けばよいから、異なった発光源からの光を適当に空間的にランダム化することは、必要な程度まで、かつ可能な間隔内で、直ちにできる。

他の例として、第一の面19を回転ディスクの一部分として形成し、得られるランダム性の度合

に多くの光源があることを示す。いずれの間でもレーザーから出てくる 22×5.4122 のオーダーの統計的にインコヒーレントな空間モードがあることを示すことができる。また、一つのパルスに20の波長、0.3秒毎に150パルスがある。従って、レーザーは、露光毎に $1.22 \times 10^3 \times 2 \times 10 \times 1.5 \times 10^3 = 3.66 \times 10^5$ の統計的に独立な光源を提供する。しかし、光源が、所望の空間的なインコヒーレンス度で像を照明するためには、像の各点は約 10^3 個の光源で照明されなければいけない。ウェーハ面の像の寸法でミリ当たり約4,000本の解像ということから導かれる必要な全部の光源の数はおよそ

$$10^3 \times 10^3 / (1.75)^2 \times 10^3 = 3.27 \times 10^{11}$$

これが露光毎に必要な統計的に独立な光源の全数である。レーザー・ビームは従って、一様にしかも空間的にはインコヒーレントに照明された像を形成するためには約 5×10^4 分だけ足りない。フォトマスクを通り結像レンズへの入射円錐光束内ビームのラグランジュ積は約次の通りのはずで

特開平2-1109 (54)

ある。

$$2.56 \times 10^{-1} \text{ cm}^2 \text{ ster}$$

第一及び第二の準ランダム位相面 19、27 の各々は像の大きさ全体にわたり主光軸の高さに実質的に影響せず、約 2.2×10^7 分だけビームの角発散 (angular divergence) を散乱させる。これは、システムにとって望ましい 5×10^4 分の全体の増加に結びつく。ラグランジュ積は従って 5×10^4 分まで調節できる。この調節は自動的に行なうこともできるが、選んだ限界内の値に維持するために、ある特定の像の大きさと露光特性に対して、操作者が部分的コヒーレンス度測定装置 36 から得られた読みに従ってアクチュエータ制御を予めセットしておくだけで普通十分である。空間的コヒーレンス長の調整範囲は、フォトマスク 40 にて、約 1.5 ミクロン、これは実質的にインコヒーレント光であることを示すが、この値から約 15 ミクロンまでとできる。

その結果、光波エネルギーはウェーハ面で測って $\pm 1\%$ の一様強度で 4 インチ \times 4 インチ (4"

$\times 4"$) のマスク平面に分布し、その振幅は $\pm 1\%$ の範囲で調節できる。露光時間 0.3 秒で供給される所与のエキシマからの全エネルギーはウェーハにて 150 mJ/cm^2 より大きくなる。

しかし、所望の度合いまで空間的コヒーレンスをランダム化することは時間的コヒーレンスまたはこの統計的に異なる複数の光源における各々の光波の周期的予期性 (predictability) に影響を与えることはできない。位相プレートにより合成波面中に続いて生じる位相の遅れはビームの分布全体に渡り変化し、可能な遅れ量は相当に大きい。時間的コヒーレンスは、その大きさのオーダーが、波面が正確に再構成されるために可能な遅れより大きくなるよう維持されなければいけない。また、この例で、多くの位相遅れの増加的变化 (100 波程度) がある。これらの位相調節を適当に行うために要求される時間的コヒーレンスはそのシステムで予定している遅れの最大の波の数の約 50 倍である。エタロン同調レーザーはコヒーレントな 1 つの波速内に 124,000 の波 (の数) を与

え、この位相調節手段に要求される約 25 倍ぐらいとなるが、このファクターは時間的に独立な光源の最大可能な数を与えるのに反するよう作用する。これらのことは時間的コヒーレンスを約 5,000 波まで減らすことにより確かめられるが、しかし、逆にこれはレンズ設計で色収差問題を引き起こす。従って、このファクターは 10,000 から約 100,000 に維持するのが望ましく、前者の値がこの例では仮定されている。レーザー露光制御 44 によって、1 回の露光でウェーハ面に入射する光の量を選択的に決めることができる。このレーザー露光制御はレーザーが連続的に発光している間引き出されるエネルギーを積分し、適量のエネルギーが供給されたら、露光を停止する。以下に説明するアラインメント・システム 46 は光軸に沿って独立にはたらき、第 7 図と一緒に以下に説明するように、紫外以外の波長が違う環状ビーム (典型的には赤あるいは青) の向きをビーム結合鏡 28 及びいろいろな光学素子に向ける。

図では一般的に示しているが、フォトマスク面

42 とウェーハステップメカニズム 54 の XY 軸駆動システムにより、レクストをコートしたウェーハ 52 を正確に位置決めしたウェーハ面 50 の間に結合光学システム 56 が配置される。光学システム 56 は屈折素子と発明のいくつかの特徴を具現しているホログラフィックな波面の調節手段の組み合わせを含む。図示した配列では、システムはコリメーター・レンズ群 58 を形成する一組の三枚の屈折レンズ素子、レンズ・システムの臨界開口 (critical aperture) に置いた一つの複数プラトー位相プレート 60、そして 5 分の 1 に縮小した像をウェーハ面 50 に投影する 4 枚のレンズの対物レンズ群 62 より成る。レンズ群 58、62 そして複数プラトー位相プレート 60 の相互の関係は屈折素子の数を減らしつつ屈折レンズの設計を簡単にすること、また、解像だけでなく、焦点深度、コントラスト及び効率に寄与する波面の調節の高い効果を得ることを共に考慮し決められる。

そのレンズ集合体は球面の石英素子を含み、位

特開平2-1109 (65)

相プレート 60 は、新しい合成波面を与えるため像の成分を領域的に調節する波面の位相遅延及び再配向システムを含む。統合光学システム 58 は像面側でテレセントリックで、位相プレート 60 及び臨界開口 (critical aperture) での放射束は正確には平行でなく、若干発散している。石英の素子は、球面収差多項式 (の分) を除きいかなる程度のすべての収差成分も、球面素子によって半径、位置、面厚、間隔として与えられる自由度を利用し、打ち消されるように、また、位相プレートにより臨界開口 (critical aperture) で起き半径方向で変化する位相遅れも考慮して設計される。球面収差はしかし、位相プレートの半径方向に変化する位相遅れにより完全に補正される光路差約 75 波分に制限される。位相プレート 60 の対物側素子について 3 枚は近似的にアブリナティックな群として設計され、四番目は像面に一番近い負のメニスカスであり、像面を平坦化する性質があるためよく用いられる。コリメーター群 58 の 3 枚のレンズは累積的に、また位相プ

色の広がり範囲を 0.03nm あるいはそれ以上に広くすることを可能にする。従って照明系は実質的に単色でなければならないが、システムとしての得られる付随的利点を伴いつつ、いくらかの色の広がり補償できる。

位相プレート 60 の中心部分に隣接し、第 2-4 図を参照しつつこれから説明する内側基準リングの外から始まる一つの領域は、位相プレート基板 64 にデポジション又はエッチングにより極めて低い最大高さでマイクロソグラフィ的に起伏をつけられた面を含む。起伏をつけられた面は多数のリング 68 の形で構成され、各々のリングは増加する高さが正確に決められたデポジットされる S_1O_2 の細密な複数ブラトーまたはリングを含む。代表的なリング 68 はその半径位置と非線性的な関係がある半径方向の寸法を持ち、高さ等から最大 $1/8$ 波長の高さまで $1/8$ 波長毎に光学的遅延を増加させる 8 つのブラトー 70 のレベルがある。第 2-6 図における位相プレートの図でその関係の概略を示す。図 4 から分かるように、各々

レートと組み合わせさせて、システムのコマと非点収差をなくすことに大きな役割をになっている。更に、球面石英レンズは負の色分散がり、本発明の一つの特徴は位相プレート 60 に示される透過グレーティングが少し正のベースのパワーの曲率のベンディング効果を起こすことである。この曲率は色消し条件を作るため、小さなレーザーバンド幅範囲でのグレーティングの色分散が球面石英レンズの色分散に十分適合して打ち消されるように選ばれる。このベースの球面のパワーはスケールファクターが非常に小さいので、図示できない。

照明系 10 からの光波エネルギーは実質的には単色と言えるが、しかし、エキシマー・レーザー 12 のようなどのような光源にもバンド幅あるいは色の広がりがある。もしこのバンド幅を極度に狭くすると、それは得られる光のエネルギーを減らし、空間的コヒーレンスの問題を増す。本システムにより提供される色消し作用の能力はエキシマー・レーザー 12 の 0.003nm から 0.02nm までの

のリング 68 で、ブラトー 70 は代表的には (基板 64 に対して) 高さ等から連続的なステップで最大 $1/8$ 入の高さまで累積的に変わる。248nm の波長で、 $1/8$ のブラトーの高さは約 31nm で、 $1/8$ の高さは約 217nm である。リング 68 の半径方向の最も狭い幅は (位相プレート 60 の外縁で) 8 ミクロンのオーダーであり、各々のブラトーの半径方向の最小寸法はおおよそ 1 ミクロンとなる。リング 68 に占められる半径方向の寸法が変わるので、含まれるブラトー 70 により決められる合成的起伏の傾きが変わる。ここでは一番急な場合を示している。傾きは 3.59° 以上であり、波面の曲がり率は約 2° である。最大の波面の曲がりはこのタイプのブレード・グレーティングを通る光エネルギーの高効率の透過を達成するため約 5° に制限される。プレート上のトラックの高さの差分は、最大で入射単色光の波長を、その選んだ波長にて、プレートの屈折率で割った割合に比例する。

各々 8 つのブラトーのリングが約 200 あるが、

特開平2-1109 (56)

これらは規則的に続くわけではない。導入される位相遅れの位相が反転する8つの別個のグループ(80~85)内で連続的なリングが配列される。一連のグループ(80~85)はその位相が0, π , 0, π , 0, π といった形で変わるように配列されている。この例では、これらの円帯の相対半径が次の表で示したように決められる。

円帯境界の半径	位 相
. 99 ~ . 80	0
. 80 ~ . 65	π
. 65 ~ . 40	0
. 40 ~ . 30	π
. 30 ~ . 20	0
. 20 ~ . 0	π

細かく分けられたリング88と細密に分けられたプラトー70のある複数プラトーの位相プレート60が介在することにより、波面に沿って空間的に分布した形で、開口半径の関数として、増加的に波長と関係した光路長が付け加われる。位相プレート60の厚さの差分は非常に小さくこの

aperture)で向けられる複数の点光源は独立な波面成分として再配向されるので、位相プレート60の区分(80~85)も独特の形で光を像面内に再分布させる。位相プレート60内の個々の位相反転は、数多くの有益な効果を伴う共同的な結像を可能とするシステム内に複数の瞳を定めることになる。

この分野に熟知した人なら、プラトーの数をこの例で与えられた8つから変えてもよいということも理解するであろう。規則的な一続き(regression)において $\lambda/18$ 毎に変わるプラトーを16個用いると、製造の時間と問題が増大するが、ブレイズ角をより滑らかにし、また、より高効率にできる。

この場合でも既に記した様に累積的に二値的な一連の方法手順を行うことによりこれらのレベルは実現できる。逆に、ある応用に対して許容できるなら結果としていくらか粗くて効率の低いグレーティングとなるが、もっと少ない数(例えば4)のレベルを用いることもできる。

例では遅れは $1/8$ 波長あるいは約 $217nm$ より大きくはならない。しかし、光源が実質的に単色であるので、位相基準に対して波面を揃えることで解像は維持される。従って第3図から分かるように、その効果は、照明単色光により形成される合成波面の累積的遅延による。第4図から分かるように、屈折光学素子が合成波面を曲げる場合も、位相は揃ったまま維持される。しかし、位相プレート60が後に続く屈折光学系での収差を前もって補償することと、その様な補償は第3図と第4図で示していないということは注意すべきである。

位相プレート60はより特定的にはブラッグ条件(Bragg)で作用するホログラフィックな素子として、屈折素子と組み合わせた形で非球面として、その両方として機能する。非球面特性の結果として、屈折光学系の設計では許される範囲の残存球面収差が波面全体に渡り、必要な(部分)量だけ補正され、それと同時に、他の幾何光学的収差と色収差も打ち消される。臨界開口(critical

この光学システム設計で求められる主要な特徴は解像の増大、サイドバンド強度の減少及び焦点深度の増大であり、これらすべてが複数の瞳を定めるリング88の配置を利用することによって向上される。第5図と第6図から分かるように π の位相反転が必要な所ではプラトー70の規則的な連続性は位相ステップ88の外側で中断される。その後、プラトー70は次の中断が起こるまで等から七番目までの順で継続的に変わる。別々の瞳からのビーム成分が再結合され、合成波面を形成する時、別々の瞳からの像の微妙なずれがすべてのあるいは多くの注目すべきファクターが向上するのを可能とする。数多くの円帯の組み合わせを解像、焦点深度あるいはコントラストを強化するために採用できるということが認識されるであろうが、2つ、3つ、そして4つといった半径の異なる配置の π 位相反転が特定の応用には有益だということがわかっている。図に示すようにこれを8つ(80~85)にするのがウェーハ面ステッパへの応用には望ましい。それはこれらの複数

特開平2-1109 (57)

の瞳が、コントラストを維持しながら、焦点深度を増加させ、これらファクターは半導体製造工程で極めて重要だからである。それに加えて、完全な(unobstructed)エアリー・レンズ以上に解像を上げることも実現される。

位相プレート80を通過して伝搬するビームの波面の再分布は完全不透明あるいは部分透過の環状リングあるいはリング配置を用いて行うこともできる。レンズ・システムの設計解析で性能を限定するビーム成分を打ち消すあるいは減らすために望ましいとわかった所なら、どこにでも不透明なリングを置くことができる。

光学設計について、本発明によるシステムは収差をバランスさせるのにかなり大きな設計自由度を与える。Hopkinsが“収差の波動理論”(“Wave Theory of Aberration”, Clarendon Press, 1950, pp. 50)で議論しているように、光路差は多項式として解析でき、この光路差は物体上の一点 h を出て、半径が ρ 、子午角が ϕ で異なる点を通過する光線の任意の組の間で、瞳あるいは臨界

開口(critical aperture)に於いて $\rho=0$ で h から出る主光線の光路とを比較して取られる。展開の後、多項式のそれぞれの項は、 ρ だけ含む項(システムの球面収差を表す級数)、 ρ と h だけ含む項(それを“球面型収差”と見なしてもよい)、そして、 h 、 ρ 及び $\cos\phi$ のあるべき乗の項に分けられる。 ρ と h だけを含む項は像面湾曲(収差)と関係があり、 h 、 ρ 及び $\cos\phi$ を含む項はコマと非点の収差を含む。

臨界開口(critical aperture)に置かれた位相プレートはそれぞれの光線に対して半径と光線が臨界開口(critical aperture)を通る時の角度に依存するあらかじめ決められた関数として光路の遅れを加える。球面収差は半径だけに依存する軸上の収差であるため、臨界開口(critical aperture)で正しい高さで適当な位相遅延を起こしてやればすべてのオーダーの球面収差を完全に補正することができる。

多項式展開での全ての球面型収差の項は位相プレートによって対称的に扱われる。レンズ設計者

の役割は残っているコマの項と非点の項を、それらが相互にバランスし、またそれらの残留(収差)が位相プレートにより起こる半径方向に変化する遅延をバランスさせる所まで減らすようシステムの屈折素子を選ぶことである。

この分析に熟知した人なら、この収差のバランスは技巧的なレンズ・コンピューター・プログラムで普通は行われるが、しかし、 $\cos\phi$ の各々のべき乗成分を含む項の補正は独立して零あるいは零近くまでバランスさせられることが必要であるということを理解するであろう。位相プレートはすべてのオーダーの球面収差を潜在的には取り除くという事実は設計手順の残りの部分を非常に簡便にし、また、かなり少ない素子(数)で解を与えるのを可能にする。

要約すると、このシステムは予期できる(predictable)周期性及空間的なランダム性を持つ一連の時間的に変化する光波の微細構造の再配分を用いることにより動作する。エキシマー・レーザーからの連続的突発光(bursts)を利用し

て、均等に分布した光が複数光源として、全露光の間隔にわたり、ホログラフィックな位相プレート素子上に表れる。位相プレート80で、効率的な高い透過を保ちながら、ビーム波面での位相調節が達成される。このシステムは合成波面の全体に渡り1/10波よりよい精度を与える。このシステムは現在存在している線解像の限界を克服しつつ、従来使われて来たものに比べて、球面石英レンズ素子の数を減らすことを可能とする。照明ビームの限定されたバンド幅は、位相プレートの特性と相俟って球面収差と色収差との十分な補償を可能とする。

レーザー以外の光波エネルギー源も、必要な特性を持っていれば使うことができる。例えば、いくつかの水銀アーク光源の個々の発光線(line)がこの要求を容易に満足する。このことは Kevin Burnsと Kenneth B. Adams の論文("Energy Levels and Wavelengths of the Isotopes of Mercury -199 and-200", Journal of the Optical Society of America, vol. 42, No.10,

特開平2-1109 (58)

October 1952, pp. 717 - 718) に見ることができ、その論文の、Hg193 のある線に対する線像を示す表 1 a は、必要な時間的コヒーレンスを示している。これらの線はランプ放射の 258nm のバンドも一緒に含む。従来の方法で色消し（バンド全域にわたって計算される）の問題を解決していることから、これらの線の成分のそれぞれが利用できる十分な時間的コヒーレンスを持つ光源であることがわかる。

もう一つの例をあげると、その論文の表 1 b は、365nm のバンドの Hg193 の詳細を示している。ここで、色消しの問題は従来の方法で解決されており、従って位相プレートに従来と同様の、しかし非常に汎用性のあるパワーの小さい非球面レンズとして機能するように設計することもできる。その様な設計の結果、必要なガラス素子の数が減り、またその性能も改善される。位相プレートはブラッグ・グレーティングとして、中心波長が最大の効率を持つように計算される。しかし、表 1 a と表 1 b をよく調べると、所与の Hg 放射バ

ンドの頂点から下までのトータルの広がり は 1000 分の 2 より小さいということが分かる。従って同調は比較的小さな問題である。

位相プレート技術を 365nm, 404nm あるいは 438nm のような時間的コヒーレンスの高い光源が得られるものより従来のものに近い波長領域でのレンズ設計に応用すると、その技術は著しい簡便さをもたらす。というのは、より高次の非球面を、設計の要求からだけでなく、球面素子そのものの小ささが実際にある理想からのずれを補償するために、規定できかつ正確に構成できるからである。

第 2 図と第 5 図をもう一度参照していうと、位相プレート 80 は、リング 88 により規定されるブレース透過グレーティング領域の外側に、多数の分離した同心透過複数プラトーリング 88 を含む。これらのリング 88 は同じく SiO₂ から成りフェーズレンズ 80 を与えるべく、基板表面にデポジションまたはエッチングすることにより形成される。リング 88 の幅と傾きはより長い赤の波

長に対して選ばれる。その波長はフォトマスク 40 により定められる像が結像されるウェーハ 52 のアラインメントに用いられるものである。従って、幅と傾きは紫外線範囲で用いられるリング 68 のものより大きくなるが、8 段階に高さが増す手法は同様に用いられる。層を 2 値的に累加したりあるいはエッチングしたりする同様の工程が用いられるが、用いられる厚みがより厚いため、リング 88 は普通にはリング 68 と別に形成しなくては行けない。

リング 88 の目的は同時に光学システム 58, 62 と組み合わせさせてウェーハ 52 の上にビームを集束させ、信号が、基準参照マークを有するフォトマスク 40 に対するウェーハ 52 の正確な位置を示すように発生されるようにすることである。ウェーハ 52 上の基準マークは単独で検知することもできる。

赤の波長はウェーハ 52 上のフォトレジスト層に影響しないため、それを紫外の照明と同時に用いることができる。ここで第 7 図を参照するとア

ラインメントのためウェーハ 52 上に精細に集光した基準ビームを与えるためのアラインメントシステム 48 が示されている。

このシステムはスペクトルの赤の部分にある 633nm の単色波長を持つ He-Ne (ヘリウム-ネオン) レーザーを利用する。レーザー 90 はガウス分布した狭い出力ビームを発生し、そのビームはビームエキスパンダ 91 によってもっと広いパターンに広げられる。この広がったビームは第一と第二の液浸した非球面 93, 94 によって一つの環状パターンに変えられ、第一の非球面はリング状の分布を作り、所与の半径上に集光する集束ビームに光を形成し、一方、第 2 の液浸非球面 94 は、環状瞳パターンを形成するようビームを実質上コリメートする。この環状瞳パターンは第一のコーナー反射器 96 とダイクロイック反射型の第二のコーナー反射器 97 で反射され、第 1 図のシステムの紫外ビームの光路中に入る。環状ビームは第二のフィールド・レンズ 29 と組みあわせてレンズ 95 によってフォトマスク面 42

特開平2-1109 (69)

の上に集束し、フォトマスク40上の基準パターン領域を照明する。その後、このビームは光学システム56に入り、位相プレート60上の複数プラトー・リング88領域を被うような環状の瞳として再び結像され、またレンズの組58、62によってウェーハ52上に集束及び再結像され、そして反射してまた光路にもどされる。反射した赤の光の基準パターンはダイクロミックコーナー鏡97を通過してアラインメント検出器99に到達する。検出器は直接と反射の基準像を比較し、必要なオーダーの精度のある既知の方法でウェーハの位置決めをするためウェーハステッパ54を制御するアラインメント信号を作る。

このように、第2-7図のシステムはウェーハの位置決めをするのに必要な正確な調節を可能とする非干渉的なアラインメント・システムを統合的に含む。外側のリング88は紫外用の同心リング68と同じ中心軸に対し配置できるので、同心性が保証される。

位相プレート60の上で正確に配置された同心

トラックを定めるための直描システムの主要な素子が第8図に示されているが、ここではこの図を参照する。ここで位相プレート60は精度の高いエアースピンドル110の上にマウントされ、このスピンドルは安定な例えばグラナイト（花崗岩）のベース112にある凹部111内の空気軸受により回転する。スピンドル駆動装置114は磁気式あるいは空気式のいずれであってもよいが、例えば25 rpsのような決まったレートでエアースピンドル110を回転させるように結合される。エアースピンドル110の上面に置かれる位相プレート60は、直交X、Y軸に沿って完全ではないが実際上十分な精度で位置決めされる。これはエアースピンドル110の周辺にあるポスト117から延びる高精度な調節ねじ116による。空圧源118はベース112内の導管119を通じ、エアースレッド120に対してエアースピンドル110の中心軸の垂直位置と水平芯位置の両方を保つよう圧縮空気を送り出す。しかし、見て分かるように、中心軸に対して位相プレート60の位置を決めるのに芯出しシヤ

は詳しくは示されていない。

エアースレッド120は、高剛性なステンレス鋼構造の、エアースレッド120と結合されたバー132につながるアクチュエータ130によってブロック128の垂直基準面に平行な方向で位置決めできる。バー132のアクチュエータ130によるこの軸に沿った移動は位相プレート60の半径方向位置とエアースレッド120の上に設けられた偏向システムからの書き込みビームの半径方向位置を変えるが、これについて以下詳しく述べる。位相プレート60の概略の位置決め制御のため、エアースレッド120上のレトロ反射器134はレーザー・ビームを干渉計（ヒューレット・パッカード社モデル5110でもよい）136に戻す。この干渉計136とアクチュエータ130を制御するガイド位置決めサーボ138で、エアースレッド120とエアースピンドル110の位置を常に1ミクロン以下に維持することができる。位相プレート60上のトラックの位置は、磁気あるいは光データディスク用のマスタートラック書き込みシステムの形式

フトあるいは他の機構は使われていない。エアースピンドル110の上部に隣接したエアースレッド120はエアースレッド120の下に突き出る空気軸受式フットパッド（foot pads）121と水平に伸びる空気軸受式サイド・パッド（side pads）122に乗ってスピンドル110に対して横方向に動かすことができる。フットパッド121はグラナイト（花崗岩）ベース112の上面基準面の上で浮上させる形でエアースレッド120を支え、一方サイド・パッド122はグラナイトベース112の垂直延長部128（又は、ベース112と固定された関係の分離した部位）の水垂側面基準壁125からの小さな距離を一定に保つ。エアースレッド120をブロック128上で垂直基準面の方向に機械的に偏位させる方法は示されていないが、空圧源あるいはサーボ機構を含むこともある。側面でのこの空気軸受は、従ってエアースレッド120が壁125に平行な方向あるいは位相プレート60に対して半径方向に動くことができても、側壁125からの距離は正確に維持される。空気軸受に加圧する内部の導管

特開平2-1109 (60)

の、コンピュータ146とデータ収納部148を含んだトラックデータ収納部及びレーケンスシステムにより定められる。データ収納部148は正確なトラック位置、トラック幅及びトラック・パターン変調に関する必要な情報を保持する。コンピュータ146の制御のもとで、トラックパターン変調信号はデータ収納部148から変調器駆動部150を通して書き込みビーム制御に送られる。これについて以下詳しく説明する。

これまでの記述から分かるように、エアースレッド120は直交する2方向の各々に対しかなり高い精度で位置決めされる。この位置の一つはアクチュエータ130の制御のもとで位相プレート180との異なるトラックを選べるよう変わる。エアースピンドル110自身は凹部111内でその名目の軸に関し空気芯出しされ(alr centered)ており、位相プレート60はエアースピンドル110上で周辺にある位置決めねじ116によってある程度大まかに固持される。

最終的な正確で動的な位置決めのために、シス

される。従って、機械手段では一般に不可能な精度が達成できる。

グラナイトベース112の上に設けられた観察及び検出システムは、最初の、及び動的な調節のために用いられる。支柱152は基準リング151を横切り位相プレート60の、ある固定位置まで延びるアーム154を含む。自動焦点のための従来と同様な光源やボイスコイル・アクチュエータ・システムは簡単のためにここで示していないが、しばしば用いられることになる。位相プレート60に近接したレンズ155により、光源157の像を写し、ビーム・分割鏡158から第2のビーム・スプリッター160を経て、接眼部162へ反射させる。光源157の波長は位相プレート60上のフォトレジスト材料が反応する波長とは異なる。接眼レンズ162を通して操作者は基準リング151の相対位置を見て、位置決めねじ116を調節して、エアースピンドル110上の位相プレート60の大まかな芯出し(例えば約1ミクロンまで)をすることができる。

テムは位相プレート60の外縁に配置された基準リング151に対してレーザー・ビームを偏向する。これらのリング151はクロムあるいは他の不透明材料でできており、フォトマスク上の高精度リングを用いたデポジションあるいはエッチング工程によって、前もって位相プレート60の上に作られる。しかし、また、これらは直接シーケンスによって位相プレート60が最初にエアースピンドル110上で芯出しされる時、その周囲の表面に分離して作ることもできる。この手法が本例では用いられる。これらリング151の約20個は、位相プレート60をその任意に決めた芯のまわりで回転させ、フォトリソグラフィ技術あるいは高精度なカッティング技術で円環を作ることにより1.5ミクロンから4.0ミクロンまで変わる特定の幅と間隔のものとして組み入れられる。そしてリング151は手動調節の間の位相プレート60のその後の各々の再位置決めのための、また更に微小な偏心を補償するための書き込みレーザー・ビームの動的制御のための芯出し基準として利用

その後の書き込み操作の間に、基準リング151の数(例えば20)の表示がビーム・スプリッター160を通してミラー161へ、更にレンズ164を通してレチクル166上に結像される。レチクル166は、基準リング151の特定の幅と間隔に対応する不透明な線168を有し、その上に位相プレート60からの反射リング像が重なる。位相プレート60上の反射基準リングの間の空白間隔がレチクル166上の不透明な線168とちょうど重なった時は最大信号が与えられ、リング151の反射した像がレチクル166の透明な線の部分に重なった時は最小の信号が与えられる。パターンでいくらかの偏心があると、レチクル166の後方の光検出器170が前置増幅器172を通し、偏心変動に伴う正弦波状に変化する信号を与える。この正弦波状変化の周期は比較的長く、回転レートで決まる。代わりに、レチクル166は与えられた角度内で基準リングの像による線の数より少ないかあるいは多い線を含んだものを用いることもできる。これは、ある決まった形で基準リング・パターンと相

特開平2-1109 (61)

互相関するパターンを形成し、振幅が偏心、変位と関係した交番信号が発生される。

この偏心変化は位相プレート60に向かう書き込みビームの半径方向での位置を決め、偏心を0.1ミクロン以内に保つために利用される。この目的のために、安定なグラナイト基準ベース112にレーザー180が固定され、レーザー・ビームは、固定された反射器181からエアースレッド120の上に設けられたハウジング182へ向けられる。ビームは反射器181から音響光学変調器184へ偏向される。レーザー180はその波長がフォトレジストを効果的に露光し、定められた像を形成するように選ばれる。変調の後のビームはコーナー鏡186,188から一対の反射器187,187'へ向かいハウジング182の側方アーム189の中の音響光学偏向器188を通して、その後、ミラー190で偏向し、レンズ192を通して位相プレート60のある下の方の領域に集光する。ここでも従来からの自動焦点システムを使えるが、それは示していない。音響光学変調器184は変調器駆動部150から

変調信号を受け、音響光学偏向器188は偏心センサー回路170,172から制御信号を受ける。偏向器188はトラックに当たるレーザー・ビームの半径方向位置をエアースレッド120の位置により決められるビームの名目位置に対して変えて、光検出器からの信号に応じて、残った芯心を取り除く。

サブミクロンの分解能が、光学システムに対しプラトローを配置する際に達成されるように、位置決め精度が望まれるとき、特別の考慮が装置の校正に対しなされなければならない。装置を校正するためには、位相プレート60そのものを基準として利用する。外側反射基準リング151に加えて、フォトリソグラフィ技術によってあるいはクロム表面に描いて、位相プレート60の中心に非常に近いところに第2の組のリング193を書き込む。これらのリング193を一般的に図2と図5で示す。外側及び内側基準リング151と193それぞれを初めの回転中心に対し、中心を同じくして書き込む。この初めの回転中心は位相プレート60を回転エアースピンドル110上で位置決めす

ることによりある任意の制限内に定まるが、この時点ではそれ以上正確にはわからない。測定と計算の手順は一人の操作者によって行うことができるが、校正のためにリングの位置を正確に決めるのに干渉計136とコンピューター148を含む図8のシステムを有効に利用できる。エアースレッド120はレーザー180のビームと反射信号を検出する図8のセンサー（示されていない）を伴って半径方向位置の全長に亘り移動する。この検出器は各々のリングを集光ビームが通過する間、信号変化を与え、そのパルスのおおのはトリガー信号として利用される。干渉計136の読みを同時に取って、データ・プロセッサーでそれをトリガー信号と相関させる。この様に、最初は外側の組151の各々のリングが検出され、干渉計136からの干渉縞の数は半径方向位置の正確な表示として計算機148に入る。半径方向の走査は内側リングの組193を通り中心の両側で実行され、それぞれの分離したリングが基準点を通った時、トリガーがかかり読み取る。コンピューター148を

使って線形回帰を行い、正確な平均値を計算し、回転中心を非常に高い精度で決めることができる干渉計136の測定を利用して、外側リングの組151の、この計算による中心に対する半径方向の距離を決めることができる。この計算はその時の温度、圧力及び光といった条件に対して正確な校正を行うことを可能にする。後の校正と比較するため規準が設定され、全ての有意の変動に対して小さいが有意の補正を計算することができる。こうして、干渉計の測定値を利用して複数プラトローの半径方向での位置を決める時、その精度は±1/10ミクロンに維持され異なる領域での位相遅れが保証できる。

従って、操作において、名目上中心となっているエアースピンドル110と位相プレート60は決められた規準に対し、位相プレート60に連続トラックを書き込むのに必要な高いオーダーの精度まで初めに精度よく置く必要はない。マイクロリソグラフィの工程を始めるに際し位相プレート60の中間領域にフォトリソ材料を塗布した

特開平2-1109 (62)

後、操作者は基準リング151を観察することにより、位置決めねじ118で、初めに位相プレート60の概略位置を決めればよい。エアースピンドル110が回転している状態に於いて基準リング151に対するどの様な偏心があっても長い周期の正弦波状の偏心信号が発生され、偏向器188による偏心の動的補正が行なわれることになる。逆の、即ちエアースレッド上に偏心センサーを置きレーザー・ビームを固定する配置をとることもできるということがわかるであろう。しかし、配置がエアースピンドル110に対してより良い安定性を与える。

スピンドル・駆動・サーボ・ループは所望のリングの半径方向位置とわずかに異なる位置に駆動する可能性もある。しかし、この違いも音響光学偏向器によって加えられるビーム補正の成分として補正される。外側及び内側基準リングを、それらのリング間距離と幅を規則的でない形で配列することによって、有利に配置することができる。基準(リング)の組のリング間間隔の配列は、純

る。この層は複数プラトーレベルが形成されるべき領域がその中にある基準リング151を含んだ領域全体に亘り設けられる。フォトレジストが実質上赤色光に対して透明であるので、偏心検出器で基準リングを見ることができる。

次に位相プレート60をエアースピンドル110の上に再び配置され、操作者は初めに接眼部182で監察しながら、概略、芯が出るまで、手動で調節を行なう。その後、エアースピンドル110が決められたレートで回転し、レーザーが選んだトラック位置に集光され、トラックが前もって決められた幅で書き込まれる。トラックのそれぞれの書き込みに従って、エアースレッド120の位置がコンピュータ146の命令のもとでのアクチュエータ130によって別の半径方向のトラック位置へ再位置決めされる。次のデポジションあるいはエッチング・段階の後、そのプラトー・レベルを持つことになるすべてのトラックに対し完全に露光が行なわれるまで、他のトラックが連続的に書き込まれる。

規則的から類似ランダム、ランダムあるいは例えば数学的級数による関数的な配置まで変えることができる。

従って、複数リングの組の中の各々のリングの固定は、配置間隔の特性から可能となり、一つのリングが他のリングと間違えられると生ずるあいまいさが避けられる。リングをこのように規則的でない間隔で配置することの更なる利点は以下に説明する偏心センサーシステムの光検出器から来る特有の誤差信号がその誤差線に於いてあいまいさも位相反転も含まないように形成できることである。

位相プレート60の始めの表面処理、独立のフォトリソグラフィ工程あるいはエアースピンドル110上にある時のカッティングのどちらかにより外側基準リングが作り込まれた後、一つの代表的な位相プレート60への直描工程が始まる。どんな時でも位相プレート60をエアースピンドル110上の保持システムから取り去り、必要な深さまでフォトレジスト層を塗布することができ

それとは別の手順としては、エアースレッド120をスピンドル1回転で0.1ミクロン・ピッチという一定のレートで動かすことである。このように作られたスパイラル・パターンは断続的駆動によって形成された円形パターンと実効的には区別できない。

そして位相プレート60をエアースピンドル110上の位置から取り去り、光露光された像を固定して、決められた像を残すよう現像されていない部分を落とす。その後、デポジションあるいはエッチングを必要なレベルまで行ない、固定したレジスト層を全部落とし、代わって、次のトラック・グループのパターを書き込むため新しいレジスト層を置く。その後、この手順を繰り返す。すなわち、フォトレジストを露光し、固定されていない部分を洗い落とし、次のプラトーまでデポジションあるいはエッチングし、そしてもし必要があればこのサイクルを再び繰り返すことができるよう固定されたフォトレジストをもう一度取り去る。

特開平2-1109 (63)

高精度同心トラック位相プレート上に直接書き込むこの方法によって、デポジションあるいはエッチングされるプラトーの各々のレベルに別々のマスクを作って置くということが避けられる。このことは超高解像システムにとり、特に重要である。このシステムに於いては、仕上げられたレンズ要素の実際の特性に応じ最良の補正を施すため、計算によって位相プレートは個別化される。この目的のため、最初にレンズ要素を設計し、決められた理想特性に最も近い状態まで、研削研磨する。その後、これらの要素の理想からの程度と内容を解析し、実際の特性に合わせた補正が計算される。この情報は計算され、ディスクファイル、テープ送りあるいは他のメモリーシステムのようなトラックデータ収納部に入れられる。校正した値に基づいてトラック・データ収納部の内容を更に修正することができる。このような個々に応じた調整は個々のシステムに最大の解像を与えることができる。

このすぐれた方法はデポジションあるいはエッ

あるいは露光されなかった領域のどちらかが洗い落とされる。同様に、マスク上での像がポジであっても、ネガであってもよい。この例では、ポジのレジスト材料を用い、光を受けたフォトリソは固定されず、洗い落とされるが、一方、未露光部は固定される。洗浄後、基板上的保護された材料のパターンは第9A図の第1のマスク200で不透明とされた領域に対応する。ペーパーデポジション工程を用い、またペーパー状シリカが基板204に堆積する時監視することによって、第7B図から分かるように、第1のプラトーが位置1、3、5及び7に作られるがレジスト層202は洗い落とされている。第9C図に示されるように、その後、第2のレジスト層205が置かれ、位置0、1、4、5を隠す第2のマスク206で覆われる。第9D図に示されるように、マスク206を通じて露光し、マスク206を取り去り、そして洗浄した後第2のプラトーをデポジションし、すべての露光領域に第1（プラトーの）二倍の厚みを加える。第9D図から分かるように、この手順は基板

チングに個々のマスクを用いることを不可能としない。その方法をそれぞれ第9図と第10図で示す。この二つの図は段階的手順によって、決められた高さの八つのプラトーの規則的なつながり（明確にするために第9図と第10図では誇張されているが、紫外波長に対して、一般に427nmより大きくならない）がどう形成されるかを示す。プラトーの位置は、一番低いプラトーから一番高いプラトーの範囲に零から七までに設計される。簡単のため、いくつかの段階は組み合わせられる。

まず第9図を参照すると、第1のマスク200が用意され、従来の形の密着転写機構を用い、基板表面に塗布された第1のレジスト層202の上に密着して置かれる。三つのデポジション段階だけで八つの異なる層を得るために、デポジションが2値的に、層の厚みが波長（を単位とした）最小増分の倍数で変わるよう行なわれる。用いるレジストはポジのものであってもあるいはネガのものであってもかまわない。ポジかネガかによって第1マスク200を通じて露光された後、露光されたあ

を残す。位置1、4をゼロ平面として始まる2つの4段階手順があるということが後程、分かるであろう。第9E図が第3のマスク207の適用を示す。すなわち、それが第3のレジスト層208の上にあつて、露光されたフォトリソを除去した後、4つ分の高さの層が付加され、0-7（第9F図）のプラトーの規則的な継ぎながりが残るよう位置0-3をおおう。一連のマスク200、206、207を置く際、位置を正確に決めるために、位相プレートの外周の基準リングが利用される。マスクを用いる順番を逆にして同じ結果を得ることも可能である。

第10図は一連のプラトーを基板にエッチングする手順を示す。マスクの透明な領域は物質が基板から除去されるレジスト層の領域を示す。同様な3段階の層形成手順が用いられるが、プラトー形成の順番が逆になり、初めに一番深いエッチングが行われる。第1のマスク210（第10A図）は第1のレジスト層211上で位置4-7をおおい、四つ分の深さの層のエッチングが位置0-3

特開平2-1109 (64)

(第10B図)で低いプラトーを作るために用いられる。第10D図における4つの2つ分の高さの増加分を残すために、第二のレジスト層213上の第二のマスク212は位置2, 3, 6及び7を被い隠す。その後、第三のレジスト層上の第三のマスク214は位置1, 3, 5, 7を被い、第三の単層エッチングにより第10F図の規則的な一連のプラトーが残る。

すでに説明した理由のため、直描技術が望ましいが、個々のフォトマスクを第8図で示す高精度なビーム書き込みシステムを用いて作ることもできる。基準パターンと個々のトラックを書き込む間、感光材料をエアースピンドル上のフレーム内に保持し、位置を保つことができる。

基準リング151, 193は最初の書き込みの間に、クロム面に配置することができる。スピンドル110の位置精度が高いので基準リングはほとんど環状でリング・パターンの中心を規定し、また中心軸と同心であるので、偏心補正を必要としない。外側基準リング用のマスク220の一部を第11図で

示すが、個々のトラックが非常に小さいので、これらを大きく拡大している。各々のマスク220の芯を保証するように、位相プレート60の周辺近くの外側基準クロムリングとのアライメントのため、基準リング222は外側領域に与えられる。複数プラトー・パターンの個々のプラトーを規定するトラックは不透明領域224と透過領域225として示されている。

従来の方法によるシステムでの別々のレンズ素子の精密な芯出しとアライメントは、長い時間と大変な努力を必要とする。この仕事を簡単化するため、位相プレート60の外側部分に近いクロム基板に初めから何組もの芯出し及び位置決めグレーティング・リング228(第2図及び第5図)が組み込まれる。従って、位相プレート60がその位置にある時、これらのリング228は自動的に芯出しされ、また臨界開口(critical aperture)にあることになる。多くのその様なグレーティング・リング・バンドは外側基準リング151と赤色光波長透過グレーティング88の間に置かれる。

第12図で示すように、個々のバンドは初めの組み立てとアライメントの手順にかなり有利に用いられる。これはこれらのバンドが角度に於いてもエレメントの間隔に於いても必要な精度を保つからである。位相プレート60は初めに臨界開口(critical aperture)に配置され、それを基準として、すべてのレンズ素子の位置決めと芯出しがなされる。第12A図に見る様に、この目的のため光源(示していない)からの平行光は、位相プレート60上の芯出し及び位置決めグレーティング232の第一のバンドに照射されるよう、開口板230を通過することによりリング形状にまず成形される。その後、第一のレンズ素子234を光軸の中心に対して調整し、光を光軸上での正確な点235に集光するようにする。この点はその後軸上の基準となる。非常に小さな穴があるついでに238がこの位置に置かれる。芯出しと位置決めグレーティング・リング228の組のこのバンド232はその特定の素子だけで集光するよう第一のレンズ素子234の実際の特性に関する情報によって形

成される。その後、位相プレート60上の芯出しリングと位置決めリングの第二のバンド237が第二の開口板238を通して平行光で照明される。ここで第二のバンド237は第一のレンズ素子234と第二の素子240の組み合わせの特性に従って光線を曲げるように設計される。再び同様に光軸上の選んだ点235で焦点を結ぶまで第二の素子240は動かされる。

第12C図から分かるように、位相プレート60の臨界開口(critical aperture)位置の同じ側で全部の光学素子が付加され組み込まれるまで、この手順は別々の光学素子とグレーティング・リングのバンドについて繰り返される。その後、ついでに238の穴は後ろからレーザー250と縮小結像レンズの組252で照明される。従って、成形開口板248を経て、レンズ素子234, 240, 242, 244を通過して照明された位相プレートの別バンドの組245を用い、軸上の集光点249を作ることによって、他のレンズ素子248を反対側で芯出し、軸上の位置決めをすることができる。全部の

特開平2-1109 (65)

レンズ組み立てが終了するまで、その後も別のレンズ素子についてこれらのステップを繰り返すことができる。

従来の芯出しそして軸方向位置決め技術も利用できると考えられるが、最も精密に作られたレンズでも製造許容誤差があるため、またこれらはレンズ素子のいろいろの累積的な組み合わせに対して決定されるため、そして更に位相プレート60は臨界開口(critical aperture)に固定されるため、位相プレートそれ自身を用いることはこの点で特に有利である。

ここで第13図を参照すると、この発明による顕微鏡280の主な素子は、顕微鏡280の臨界開口(critical aperture)の位相プレート282を含む。被検標本284は透明基板288の上そして一般的には厚さ0.18mmの薄いカバー・ガラス268の下に置かれる。発明による照明器270は複数光源を含む空間的にランダム化された、時間的にコヒーレントな光ビームを標本284を通り顕微鏡280の対物レンズの方へ向かわせる。位相プレート262

は、アキシコン面で屈折した平面波の収束と強め合いにより遅せられる、線状光の軸方向位置は収束アキシコン素子の開口で制御でき、線状光の幅あるいは大きさは開口数あるいはビームの収束角度で制御できる。しかし、特別な円錐形のそして他の非球面表面が必要となるので、このタイプの光学システムの十分な可能性はこれまでの所まだ実現に到っていない。

しかし、この発明によれば、アキシコン効果が照明器270を位相プレート272及び球面レンズ274(必要なら2個以上の屈折素子を用いてもよい)と一緒に用いることにより得られる。位相プレート272に複数のプラトーを半径とは無関係に実質的に等しい幅と厚さをもつよう配列することによって、球面レンズ274との組み合わせに於いて円錐レンズの効果は2倍となる。位相プレートでの光線の曲がり約3°に制限される。第14図から分かるように、収束平面波は有用なかなりの程度の焦点深度を与える。もし必要なら複数のプラトー・リングに変化を持たせることにより、

の設計は光学システムの屈折素子の球面収差を補正し、そして単色照明は横の色補正に対する必要をなくす。カバー・ガラス268は当たる光線に特有な球面収差を加えるが、それも同様に補正できる。特に平らな像面の対物がしばしばカメラ観察に要求され、球面収差補正は、非点収差と像の平面度も更により良く補正されることを可能とするので顕微鏡に対するこの応用には更に総合的な有利性がある。

"Axicon, ; A New Type Optical Element"
(J.H.McLeod, "The Axicon, A New Type of Optical Element", Journal of the Optical Society of America, August 1954, pp.592-592)

と題された論文に、平面波を光軸と共軸な実際のあるいは実質的な線状の像に変換する円錐平面レンズシステムの記述がある。このタイプのシステムの長所はそれが非常に細い相当な長さの円錐形針状光を与え、光学記憶再生装置のような多くの最近の光学システムに必要なオートフォーカス・システムを必要としないことである。その効果

同じ位相プレート272で、球面レンズ274の球面収差が補正できるということがわかるであろう。

第15図と第16図で、発明の概念の円柱レンズ・システムへの応用が示されている。このような応用では、照明器270は規定された特性の光を傾きと幅が変わる平行な線の形で変形複数プラトー284を有する位相プレート282を通るように向ける。プラトーの傾きと幅は同じ光路内にある円柱レンズの組286,288の中心光軸に対して非線形に変わる。円柱レンズの組286,288に於ける位相遅延による収差の補正は光軸に対する位置に応じ、位相プレート282全体に亘り取り入れられる。

位相プレートが、適当な光投影器との組み合わせで、その光学システムから広がり円柱(レンズ)の軸を含む面内にあるシート状の光を形成する浅いプリズム又は複プリズム(bl-prisma)に近い作用をする、そのような位相プレートと円柱レンズの組み合わせができるということもわかるであろう。これに加えて、これまで述べた他のシステ

特開平2-1109 (66)

ムもこの様に作られる像界内で結像システムとしても読み出しシステムとしても等しくうまく作用することができる。

多くの方法、手段及び変形を述べたが、この発明はそれだけに限られるのではなく、添付の（特許）請求の範囲内の全ての形態と変形を含むことが認められるであろう。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、照明系及び位相プレートを含むこの発明によるシステムの主要な要素の簡略化した概略構成図である。

第2図は第1図のシステムに用いることのできる位相プレートの一部分の正面図であり、少し理想化された形で、一般的なリング配列を示す。

第3図は位相プレートの部分側断面図であり、位相プレートに於けるプラトーの変化と波面の変動の補正を示す。

第4図は第3図と同様な別の部分側断面図であるが、ただし、波面補正の異なる様相を示す。

第5図はプラトーに加えて内側と外側のグレー

とのできる個々のステップを示す。

第13図はこの発明による高い解像の顕微鏡法に用いられるシステムの一例の側面概略図である。

第14図は本発明による、光軸に沿った針状の光の線を与えるアキシコンタイプのシステムの側面概略図である。

第15図は本発明による位相プレートを用いた円柱レンズ・システムの簡略な配置図である。

第16図は第15図のシステムの平面図である。

特 許 出 願 人 テオドル ロバート
ホイットニー

代 理 人 弁 理 士 下 田 啓 一 郎
同 弁 理 士 大 橋 邦 彦
同 弁 理 士 小 山 有

ティングリングを説明するフェーズプレートの拡大した断面の一部の描写である。

第6図は位相プレートの他の部分側断面図であり、位相反転を組み入れる方法を示す。

第7図は第1図のシステムで用いるウェーハ・アライメント・システムのより細部を示す構成及び概略図である。

第8図はこの発明に従って、位相プレートを作るための直描システムを示す断面構成図である。

第9図は9Aから9Fの部分から成り、デポジションによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第10図は10Aから10Fの部分から成り、エッチングによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第11図はこの発明により位相プレートを作るのに用いることのできるフォトマスクの一部分の平面図である。

第12図は第12A図から第12C図にて、システム内のレンズ素子のアライメントに用いるこ

手 続 補 正 書 (方式)

平成1年2月15日

特許庁長官 吉田文毅 殿



1. 事件の表示

昭和63年特許願第257673号

2. 発明の名称

高解像結像システム及び方法

3. 補正をする者

事件との関係 特 許 出 願 人
テオドル ロバート ホイットニー

4. 代 理 人

東京都港区麻布台2丁目4番5号
〒106 メソニック39森ビル2階
電話(03)438-9181(代表)
(6735) 弁理士 下 田 啓 一 郎



5. 補正命令の日付

平成1年1月31日(発送日)

6. 補正の対象

図 面

7. 補正の内容

別紙の通り適正な図面を提出する。



特開平2-1109

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成6年(1994)11月8日

【公開番号】特開平2-1109

【公開日】平成2年(1990)1月5日

【年通号数】公開特許公報2-12

【出願番号】特願昭63-257673

【国際特許分類第5版】

H01L 21/027
G02B 5/32 9018-2K
27/42 9120-2K
G03F 1/08 C 7369-2H
H01S 3/101 8934-4M
3/137 8934-4M

【FI】

H01L 21/30 311 S 7352-4M
L 7352-4M

手続補正書



平成6年1月28日

特許庁長官 殿

1. 事件の表示 特願昭63-257673号

2. 発明の名称 高解像光学系

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

氏名 テオドル ロバート ホイットニー

4. 代理人

東京都文京区本郷3丁目30番9号

〒113 本郷セットエスビル2階

電話 (03)3814-5921(代表)

(7622)弁護士 大橋 邦彦



5. 補正命令の日付 自発

6. 補正の対象

明細書(発明の名称及び全文)

7. 補正の内容

- (1) 明細書中、発明の名称を「高解像光学系」と補正する。
(2) 明細書を別紙のとおり全文補正する。

補正明細書(全文)

1. 発明の名称 高解像光学系

2. 特許請求の範囲

(1) 2次元的な大きさを持つ像を投影する高解像投影光学系であって、
複数の屈折レンズ素子と、同心円状に複数のリングが形成された少なくとも1
つの透過グレーティング素子とを備え、

前記複数のリングの各々の幅が、半径方向に任意の分布をもって形成されてい
ることを特徴とする高解像投影光学系。

(2) 前記透過グレーティング素子の少なくとも1つが、前記光学系の臨界開口
に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

(3) 紫外領域に発振スペクトルを有するエキシマレーザー光源と、請求項1の
高解像投影光学系とを備え、

前記光源からの光でマスクを照明し、該マスクの像を前記光学系を介して被加
工物体上に投影する露光装置を、さらに備えたことを特徴とする請求項1に記載
の高解像投影光学系。

(4) 前記透過グレーティング素子の各リングの断面が、2の素子の段数の最小
階段からなるプラトーにより近似された凹凸形状をなしていることを特徴とする
請求項1に記載の高解像投影光学系。

(5) 前記透過グレーティング素子の複数のリングの中に、互いに隣接するリン
グを通過した光の位相差が 2π となるようにその幅が定められたものと、互いに
隣接するリングを通過した光の位相差が 2π 以外の値となるようにその幅が定め
られたものとが含まれていることを特徴とする請求項2に記載の高解像投影光学
系。

(6) 前記透過グレーティング素子が各々複数の同心円状リングを含む第1、第
2の領域を有し、

前記第1の領域を通過したある波長の光による結像面と第2の領域を通過した
他の波長の光による結像面とが実質上一致するように、各領域における各リン
グの幅の分布が定められている、

特開平2-1109

ことを特徴とする請求項1に記載の高解像投影光学系。

(7) 光源と、
一対の準ランダム位相プレートと、
空間的コヒーレンス度検知手段と、
検知されたコヒーレンス度に応じて一対の準ランダム位相プレート間の相対的関係を変化させるための手段と、
を備えたことを特徴とする照明光学系。

(8) 複数の溝を有する通過グレーティング素子であって、
前記各溝の幅が任意の分布を持つように定められており、
各溝の断面は2の累乗の段数の微小階段からなるブラトーにより近似された鋸歯形状を有する、
ことを特徴とする通過グレーティング素子。

(9) 前記各溝が同心円状に配置されたリングとして形成されており、
該複数のリングの中に、互いに隣接するリングを通過した光の位相差が 2π となるようにその幅が定められたものと、互いに隣接するリングを通過した光の位相差が 2π 以外の値となるようにその幅が定められたものとが含まれていることを特徴とする請求項8に記載の通過グレーティング素子。

(10) 一定の溝幅で形成された複数の溝を有する通過グレーティング素子と、
少なくとも1つの屈折レンズ素子と、
を備えたことを特徴とするアキシコン型レンズ系。

(11) 一定の溝幅で形成された複数の溝を有する通過グレーティング素子と、
少なくとも1つのシリンドリカル屈折レンズ素子と、
を備えたことを特徴とするシリンドリカル型レンズ系。

(12) 照明光源と、照明光源からの光のコヒーレンスを変化させる手段とを含む照明系と、

照明光源と異なる波長の光を発するアライメント光源と、アライメント光源からの光をリング光束に変換する手段とを含むアライメント系と、

コリメータ部と、対物レンズ部と、駆動位置に通過グレーティング素子を含む、照明系及びアライメント系からの光で照明された物体の像を所定の結像位置に

微小投影する投影光学系と、を備え、

前記通過グレーティング素子は中央部とその周辺部とに露光用リングパターン及びアライメント用リングパターンを有しており、

前記通過グレーティングの位置において前記リング光束がアライメント用リングパターンを通過し、前記照明光束がその内側の露光用リングパターンを通過する、

ことを特徴とする高解像結像システム

3. 発明の詳細な説明

(発明の背景)

電子ビームあるいはX線に代表される原子粒子物質に基づいた高解像システムのような他の技術が利用できるにもかかわらず、半導体工業で用いられる光リソグラフィシステムや幅広い応用に用いられる顕微鏡システムに於けるように高解像結像システムの応用は続いで増えている。電子ビームやX線のシステムは像形成に長い時間を要する他、膨大な費用を要し、操作性も悪く、予見できる将来の多くの応用に対しては、光結像方式がなお好ましいものとして残ることを確実にしている。

しかし、より精密な技術に対して常に増している要求により、光結像方式が屈折光学系によって達成できる解像度の限界に実際上達してしまっただけで、高密度大規模集積回路の大きさは常に小さくなり、より高い素子密度で作られている。その一つの客観的目安は最小線幅の仕様である。最近まで1ミクロンの線幅で適当であったのが、産業界の現在の目標は0.5ミクロン以下更には、0.3ミクロン以下とサブミクロン領域の線幅にまで下がってきている。これは1ミクロンメートルに数千本のオーダーの線解像を屈折光学システムに要求するが、適当なオーバーチャージと焦点深度を持つ光結像システムでこれまで達成不可能であった。

これらの問題に答えて、光学産業界ではすぐれたレンズ設計電子計算機プログラムを用いて、もっと精巧な多くの枚数のレンズシステムをだんだんと考案してきた。その選んだ技術水準は、「1線」と呼ばれるレンズシステムによって例証される。この「1線」レンズシステムは最高品質のガラスからなるおよそ二十枚の屈折要素を複合的に配置することを利用している。しかし、このシステムが遠

成できる最高の結果は0.7ミクロンの線解像の範囲にある。これは複雑なレンズ設計に伴う多数の要因（色収差、コマ収差、球面収差、球面収差が含まれる）及び目標地点で十分な均一性と適当な波動エネルギーを実現するという問題により、現在約0.7ミクロンと云う最終的な限界に置かれているからである。このオーダーでの精度を扱う時に、製造に於ける固有の制限もある。例えば、最高のダイヤモンド旋削手段をもってしても、短波長での動作に対しては非常に悪い光学表面となってしまう（たとえば、紫外）。

しかし、半導体産業では光結像方式に基づいた多くの生産及び検査手段を考案してきた。また、今後これらを利用するのが好ましい。というのはこれらの手段が特別な利益を提供するからである。例えばシリコンあるいは他のウェーハの上に積み重なった層を作る際、高解像屈折光学系を取り入れた「ウェーハステッパ」が利用される。作られるそれぞれの層に対し、異なる高精度のフォトマスクがある。最初、ウェーハは適量の光エネルギーで露光することにより像が、そこで定着されるようなタイプの感光材料の層でおおわれる。そして、ウェーハステッパの機構によりウェーハは光軸に対してえらばれたマトリクス位置に正確かつ連続的に置かれる。ウェーハ上のマトリクスパターンでのおおきの位置で、代表的には像をおる値（普通は5分の1あるいは10分の1）だけ縮小する光学システムでフォトマスクを通じて露光が行なわれる。このタイプのシステムに対する本来の要求は個々の露光で光エネルギーが適当であること、露光された像は全像面において均一であること、そして焦点深度が十分で、解像力が設計仕様を満足することである。これらの要求を同時に満たすのは易しいことではない。というのは、像の大きさが極めて小さいことと極めて高い精度が要求されることから可能な設計の選択余地が大きく制限されるからである。いったんマトリクスのすべての位置で露光が行なわれ、定着されていない物質が洗い落とされると、像再生の精度と均一性について像の検査が可能となる。統計的な基盤の上に、いろいろな像の性質を調べるのには一般に光学顕微鏡が利用される。検査は、線幅あるいは他の特性の自動あるいは手動測定を含む作業の組合せの一つあるいはそれ以上より成るであろうが、これらの作業のすべてには像の正確でかつ高解像の拡大が必要である。

実際に利用するもっと高い解像の光結像方式を作るという問題はすでに限界に近づいたと見える。もっと複雑な多数枚のレンズシステムをもつても、そのような限界が最終的に乗り越えられないとわかるかどうかは今後に残っている。しかし、光結像システムを設計と生産での束縛から解放できるような大幅に異なるアプローチが必要となったように思える。その束縛は光学設計の方程式に含まれる多くの高次の項をうまくまとめるに際し本来的に隠されている。何年前かに、レンズシステムに特別な性質の非球面素子が入れられるべきだという提案によって、この方向での試行的な動きがあった。これらの提案は宮本健郎（Kenro Miyamoto）が書いた「位相フレネル・レンズ」というタイトルの論文で最もよく述べられている。これは米国光学協会（Optical Society of America）の1950年11月での学会で発表され、またその後すぐに、ジャーナル・オブ・ジ・オプティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ（Journal of the Optical Society of America）, 1961年1月, 17～20ページに掲載された。宮本はまたその論文で概念的に同様の以前の論文を参照している。彼が基本的に提案したのは、「位相フレネル・レンズ」を、例えば、球面収差を補正するように、そこを通る波面を変形させるべく、光学システムの瞳面に置くということである。彼の提案は全く一般的なものであり、高い透過率、半導体工業のニーズにアプローチするような高い解像、あるいは適当な焦点深度を得るといような問題に対しては何の考慮も払われていなかった。一つの例をあげると、宮本は0.63ミクロンメートルの最小半徑寸法を持つ単層薄膜リングの利用を提案した。もっと精密なシステム、すなわち、ブレース型通過グレーティングを作るのに関する困難に関しては言及していない。

宮本は次の量だけ波面を変形させるべく、位相フレネル・レンズを作ることができたと述べている。

$$\phi(u, v) = (k-1)\lambda$$

ここで、 $k=1, 2, \dots, m$ で、すべてのゾーンで変形の量が λ より小さい。これはいろいろの輪帯に（単層）薄膜をつけることによって実現される。そして、彼はこのように変形された波面は波面を $\phi(u, v)$ の量で変形させるレンズと「まったく等価」とであると述べている。

特開平2-1109

彼の方程式は完全なブレース位相グレーティングを記述し、しかも単層薄膜を用いるという彼のの方法の記述は、また「位相反転ゾーン・プレート」とも呼べる二重的な位相グレーティングの創作に導く。このタイプのグレーティングはただ位相遅延の二つの値の間での交番を与えるようにはたらくだけである。

「ゾーン・プレートと移動ゾーン・プレートの効果」という論文 (Applied Optics, Nov. 1967, pp. 2011-2013) の中で Melvin H. Norman により位相反転ゾーン・プレートは研究されている。Norman はゾーン・プレートあるいは位相プレートの効率を「照明光波面における光束の主像 (principal images) に到達するパーセンテージ」として定義し、そしてこの定義を用いて彼は位相反転ゾーン・プレートの1次効率40.5%を与えた。Norman は、もし位相フレネル・レンズができたとしたらその効率が100%に近づくであろうことを示した。しかし、この間、よく補正された光学系と一緒にたらく高効率の位相フレネル・レンズの製作は明らかにまだ試みられておらず、また報告もされていない。マイクロレンズとして独立に用いられる三角形プロファイルのプレートがある応用に対しては作られている。

宮本の提案はレンズ設計に対しより大きな自由度を与えるものと認められるが、文献から知る限り、それはまだ実施されていない。これは、導かれる利益に関して考えられている制限、覆われている形で位相フレネル・レンズ製作のむずかしさ、屈折光学素子だけを利用する光学設計での他の進歩、問題に固有なより更に複雑な要因に対する認識の不足といった理由のいくつかによるものであろう。例えば、グレーティングのブレース角で入射した光の平行成分と垂直成分の間での効率には相当の違いがあり得る。また、宮本は、個々のスペクトル成分の時間コヒーレンスが位相フレネル・レンズの解像あるいは空間-バンド幅 (space-bandwidth product) を維持する面で重要な役割をはたすことを認識、少なくとも議論することをしなかった。この後は、波面収差の操作に於いて波面の成分分布、照明エネルギーの正確な分布、位相関係の局所的、時間的、空間的な再配列等の要素をうまく考慮することにより、屈折レンズを一緒に組み込んだ形で、光結像あるいは光読み出しシステムの解像を有用な焦点深度、高い効率と共に、以前は達成できないと考えられていたレベル以上に向上させ得るということが示される。

一つの照明系が用いられる。この例での位相プレートは一つの透過素子を含む。この素子は多数の同心リングがあり、おのおののリングは波長の何分の1かの増分ずつ変化する複素プラトーがあって、リングのプラトーは局部波面に小さい角度の曲げを与える。位相プレートは屈折光学系の臨界開口 (critical aperture) に配置され、設計は位相プレートと統合されて行なわれるため、手順が簡単になる。例えば、屈折光学系はコリメーターレンズ部分と対物レンズ部分を含むことになるが、標準的には、そのシステムに対し、既知であるがしかし全体としての制限内にある許容できる収差しかもないよう相対的に少ない素子板で設計される。位相プレートはマイクロリング技術によって、各個のリング内で連続的にプラトーの高さが変わる形で半径の変わるリングを与えるように作られる。違うリング・グループでのプラトーの段の関係を減らすことにより、位相プレートの異なる区分を越る光波の位相関係がいくつかの面を形成させるように選択的に反転される。一部分のリングあるいはリング・グループはある領域から来た光が遮蔽あるいは減衰されるように、不透明あるいは部分透過であってもよい。こうすると、複素光源からの照明光の空間的分布と位相関係は屈折光学系に於いてはやむを得なかった収差を打ち消すように、再び構成される。このシステムと方法によって1ミリメートルあたり、2500本のオーダーでの解像、高い透過率、深い焦点深度、そしてすぐれたコントラストが得られる。このシステムに利用される屈折光学系は大幅に少ない素子数しか要求しないだけでなく、また球面収差と色収差のような特殊な特性に対して、設計手順にもっと大きい許容度を持たせることができる。

高いビーム強度、強度分布の均一性及び色消しを得るのに半導体製造に対してはパルス・レーザが好ましい照明光源である。しかし、強度分布、フィルタリング及び色収差の問題を克服するための従来の方法と組み合わせで水銀アーク・システムのような他の光源を利用することもできる。

この発明の更なる特徴によれば、ある一つの例として照明系は、248nm のような紫外線領域で動作するエキシマレーザとエタロン同期キャビティの組み合わせを含む。これは50000 の波を越す時間的コヒーレンスがある光エネルギーのパーストを与えるものである。照明光エネルギーのパーストは一對の離れて配置さ

れた位相グレーティングと光学屈折素子を組み合わせることにより達成される高解像光結像または読み出しが依拠する原則と同じ原則が他の光学応用にも利用できる。この応用には、顕微鏡検査とOTF (光学的伝達関数)、球面対物レンズと組み合わせた円すいアキシコン位相グレーティング、従来の円柱レンズと組み合わせた円柱形位相グレーティング、そしてトロイダル非球面グレーティング・レンズを含む。円すいアキシコン位相グレーティングは光学屈折素子との組合せに於いて、特に有用であり、オート・フォーカス・システムを要せず、光ディスクの書き込み及び読み出し素子として所望の長さの細い光線を提供する。システム設計に於いて、位相プレートの特有なスペクトル特性が認められ説明されるならば、屈折光学系の限界がどこで来ようとも、波面収差を精密に補正する能力というのは、いいかえると、潜在的な有用性となり得る。

(発明の概要)

本発明によるシステムと方法では屈折光学系の配列の中に、少なくとも1つの、ホログラフィックな、領域的に配置された透過グレーティング素子が置かれ、この素子の1つは一般に、臨界開口 (critical aperture)、即ち面にある。グレーティング素子と他の素子は、増加的に変化する位相遅れを起こすように、多数に分布した空間的インコヒーレント、時間的コヒーレントな光源により単色で照明される。これらの増加的な変動は照明フィールド全体にわたり制御された形で非線形的に変わり、ある特定の収差を補正する合成波面を形成する。光学結像システムでは、補正は屈折光学系に於ける予定された球面収差のためだけでなく、予定された色収差のためでもある。波面の遅延は波長の何分の1かの増分ずつ変化する、高屈折率を与える、複素のプラトーにより定められた部分よりなる透過グレーティングにより生じる。その部分の場所的な構成は、相互に関連した多くの面を作るよう波面成分の相互作用を変えるため、位相反転、透過率変化を含むこともある。この相互に関連した面の合成の効果として、例えば焦点深度の増大、コントラスト、解像の改善が考えられる。

結像システムの一つの一般的な例に於いて、単色光源、拡大されたビーム領域全体でビームを一樣に分布させる手段、空間的コヒーレンスを効果的に取り除き、ある決められた最小以上の光波の時間的コヒーレンスを形成する手段を含む

れたランダム位相板と、中間のビームシフト装置を含み、フォトマスクあるいは物体面上に統計的に均一な形で空間的インコヒーレントな複素光源を分布させる位相ランダムマイザーを通過する。位相プレートは1次光の高い透過率を保ちつつ、8° のオーダーの光線の曲げを与えるように構成される。一つの好適な構成としては、位相プレートの一分区内でプラトーの過渡的な選択的反転により実現され、互いに位相の反転する部分により定められる6つの (円) 帯状の面を含む。一つのシステムには一つ以上の位相プレートが配置でき、一つは臨界開口 (critical aperture) に配置され、その他は特定の非球面特性を与えるよう、ビーム経路に沿って隣接される。248nm の光源を用いる時には、位相プレートのプラトー領域の最大厚みは、各リングが8段のプラトーより成るとき、約0.427ミクロンに制限され、各個プラトーは、最も狭いリングのところでわずか1.5ミクロンのオーダーの幅となる。波面 (Wavelets) での時間的コヒーレンスは複素プラトー領域によって生じる最大位相遅れより60倍かそれ以上の大ききで維持される。

この発明に於くいくつかの異なるシステムにより、この概念の汎用性が示される。例えば、顕微鏡システムに置いて照明系から被検物へ向かう光は、臨界開口 (critical aperture) の所に置かれ、被検試料上のカバープレートにより生じる球面収差と共に、システム内の屈折素子による収差を補正する位相板を用いて、従来以上の高い解像で結像される。アキシコンタイプのシステムでは、発明による位相プレートは、表面波を円すい形焦点にもって来るべく、一つあるいはそれ以上の球面素子と一緒に作用するように形成される。収束波は光線に沿って、アキシコンの設計の特色をなす比較的長い針状の光を作る。円柱レンズ・システムでも、もっと高い解像と精度のために、波面補正が同心プラトーではなく、平行プラトーによって行なわれる。

更に、位相プレートが有利なのは、分離した光屈曲グレーティングと基準パターンを与える同心円リングの外側輪状領域を含められることである。結像の波長と異なる波長 (例えば赤の波長) のコヒーレントな光は感光性表面に影響を与えずに目標面と投影像とのアライメントに用いられる異なる部分つまりこの外側輪状領域を通過できる。

特開平2-1109

本発明による位相プレートは、所定の特性のリング・パターンを与えるため、一連の二値的な操作を組み合わせるのが好ましいが、デポジションまたはエッチングの各々の段階に対しフォトマスクを用いるかまたは直接により作られる。例えば、1、2、そして4のプラトー高さに対しデポジション層を定めるべく3回の一連の手順が利用でき、フォトリソの洗い流し、塗布を3回行う一連の工程により、段階的に第7番目のレベルまでの一連のプラトーを与えることができる。各々のデポジション工程に、例えば、予め決められているリングの半径の変化に対し、波長の何分の1かの違いだけ高純度シリカを付加することもある。このように直径が10 cmオーダーでの素子の上に、1つが8つのプラトー・レベルを持つリングが約1700個ある一つの位相プレートが作られる。この寸法は、近年の半導体製造に要求される大きいウェーハと高い解像度をもちあわせたウェーハステッパー装置に必要な範囲にある。相対的な工程を、即ち、層のデポジションのかわりにエッチングを用いることもできる。

アライメント用に、第2の波長の光源について用いられる外側環状リングも同様に結像領域のリングと同時に位相マスクから記録されるか、あるいは直接で形成される。しかし、波長とそれに伴い要求される層の厚みが違うため外部リングは別々にデポジットされる。

0から16分の16波長までの光学的位相遅延を起こすように一連の0から15レベルまでのレベルを与えるため、4つの二値的マスクを用い、一連の16のプラトー高さを作ることによって、グレーティングの上にもう少し少なめな、そしてもっと効率的な高いブレース角が形成できる。同じように、ただ4つのプラトー・レベルを用いれば、特定の応用に対し粗い、効率の低いグレーティングが、かわりに形成できる。

別の回所または反射リングの組が都合よく位相プレート上に配列される。この目的のために、この素子は始めに少なくとも一定の領域に1つのベース（例えば、クロム）層がおおわれる。リングは回転させながら描くことによりあるいはフォトリソ技術により定められる。

リングのある1組は、レンズの芯出しと間隔出しのグレーティングのいくつかのグループを形成する。これらのグレーティングは異なる個々のレンズ素子あ

るいはレンズ素子群に関して設けられ、特別に配置される。

コリメートされた光線が臨界開口 (critical aperture)にあるグレーティングを通過して導かれ、選ばれたレンズ群内のレンズ素子が適当な位置に置かれた時、これらのグレーティングは光軸上に集束ビームを与える。従って、個々のレンズの芯と光軸上位置は、それが組み込まれる際、正確な規準を与えられることになる。

第2の組の反射リングは、始めに、後に続くパターンを中心として描くこととなる名目上の軸と同心の外側周辺の組 (grouping)として描かれる。分離した別々のトラックが回転システムに於いて位相プレート製作の間、直接描かれている時は、このリング組はフォトマスクに対する、あるいは位相プレートの偏心の補償のための、基準としてはたらく。

サブ・ミクロンの解像を得るために位相プレートの上に複数プラトーを配置することに於いて要求される精度は、どんな書き込み技術が用いられようと非常にきびしい要求を課する。これらの要求は中心の近くに第3の反射リングの組を生成し、位相プレート自身を利用することにより満たされる。回転の中心は始めは、限度内で任意に選ばれるが、反射リングを書き込んだ後に、その位置は正確に決められる。これは、各々の反射リングが通過する時、干渉計による（干渉）精測定を行いつつ中心線の両側でリングを走査することによりなされる。同じように内側リングと外側リングを利用することにより、名目上の位置の間でのしめの数から正確な読みを得ることもできる。これらの読みから、その時点に於ける温度、気圧、光束の正確な補正を用いて校正ができ、それにより、リングを1/30ミクロンのオーダーの精度で配置できる。

この発明による、際立って有効な直描システムはベース上の空気軸受にささえられたエアースピンドルを用いる。単一（往復）方向的に移動できる架台が、書き込みレーザービーム用として、制御システムにより、スピンドルに対し、別トラックの書き込み位置まで移動する。

スピンドルに隣接して設置された偏心センサー・システムが外側基準リングの像を一つのパターンの上に投影し、そして位相プレートが正確に中心に置かれていない時、合成信号中の正弦波状変化を検知する。回転中の芯ずれによる変動を

補償するよう、レーザー書き込みビームを偏向させるのに信号変動が利用される。周辺で保持される位相プレートは目視でミクロンの範囲内に調節することができ、偏心の補正はこれを0.1ミクロンあるいはそれ以下にまで減ずる。このシステムは、特定のレンズ組立て品に対し補正を行うよう、位相プレートを作り得るその精度を、従来のコンタクト転写工程の精度を越えるところまで、向上させる。また、これは、大きな中心出し誤差や異様誤差を生じさせることなくフォトリソ塗布、乾燥、そしてデポジションまたはエッチングを行うのに、位相プレートをエアースピンドルの上に置いたり、そこから取ったりできるようにするためである。

(実施例)

第1図の、簡略的な一般化した表記は、尺度と比率に於いて違いがあるため、システムの大きな要素と、システム内に於ける光波エネルギーの細かな分布及びその空間的配置とを共に、表わし得ていない。他の図も正しい比率で相対的な寸法を表わしていないが、その特徴と関係をよりよく理解するためには、それら他の図を参照しなければならない。

本システムは、極めて微細な非常に高い解像の像となるべく、フォトリソを適当に照明するため、ウェーハステッパーのような光結像ユニットに用いるのに好適な形で説明される。ウェーハステッパーの制御、位置決め、オートフォーカス、及び関連技術の詳細は公知であり、簡単のために、ここではそれらに触れない。ある特性のエネルギー帯となる光が、紫外領域の248 nmでおよそガウシアン分布の矩形ビームを生成するRSPタイプのエキシマー・レーザー12を含む照明系10で初め生成される。エキシマー・レーザー12は一秒に約150パルス、パルス幅が1.2×10⁻⁹秒、そして約375 mJ/パルスでパルス発光する。これから示されるように、このシステムは十分な強度の放射光を、像を記録するフォトリソ層へ導き、また、本光結像システムが十分高効率であるため、有益なことに短時間で露光できる。これから列挙する、いろいろな要素を適当に考慮すれば、他にも利用できるシステムは多くあるが、このタイプの好適なレーザーが、Lumicon Hyporex-460 Model HE-SXとして出されている。

レーザー12から出るビームはかなりの程度空間的にコヒーレントであり、6

20分の1の程度で時間的にコヒーレントである。このファクターは所望の空間的な及び時間的な分布と一致しない。したがって、レーザー12は一般にエタロン14と言われる一つの共振器調キャビティと一緒にたたく。このエタロン14はQ値と、124000波長分ぐらいいまで合う光の波長の予期性 (Predictability)を上げる。あるいは代わりに、同程度の時間的コヒーレンスを生じさせるのに、キャビティ内エタロン調のあるレーザーを使ってもよい。しかし、干渉縞の影響が出る可能性があるため、過ぎた同調は好ましくない。従ってエタロン14は時間的コヒーレンスを10000波長分の程度の範囲まで下げるため、わずかに離調される。このような手直し理由は後述より詳しく説明する。

ビームはレーザー12から出た後エキシマー・レーザー12の長方形ビームを一边が1" (1インチ)の正方形ビームに変える二重プリズム・ビーム・エキスパンダで拡大される。このビームは、SiO₂基板の上にデポジットされSiO₂の準ランダム・パターンで定められる第一の準ランダム位相面19を含む空間コヒーレンスランダムマイザー (randomizer) 18の中に入る。このランダムマイザー18の構造は断面領域に渡って位相のランダム化の度合いを知らせる光透過素子を提供する。このような準ランダム位相面は、平均厚さ約1ミクロン、平均幅約10ミクロンのデポジットされたパターンによって得られる。第1のフィールド・レンズ20はビームを必要ならモータ駆動もできるレチクルマスク装置22に伝える。マスク装置22はビームを周辺で、制御可能な大きさの選べる物体面外形に制限し、ビームは以下に記すように小さな弧状に動的に動かされる可動コーナ鏡24へと向かう。このコーナ鏡24からビームは結像リレー・レンズ26の方に向けられる。このリレー・レンズは第一の準ランダム表面19の像を似た特性をもつ第二の準ランダム位相表面27に結像する。その後、ビームは第二のフィールド・レンズ29を含む関連光学系に向かい、ビーム結合コーナ鏡28を経由し、そして像が写けられるウェーハ平面に行く。この角度のついたビーム経路により、かなりのパワーと体積を必要とするレーザー12を、システムの像形成部分より十分離れたところに置くことが可能になる。

第二の準ランダム位相表面27はより一層のランダム化を行い、すべてのビーム分布領域で空間的な位相のランダム性を友好的に増す。しかし、ランダム性の

特開平2-1109

度合いを変えられることが望ましく、このために、サバール板とソレイユ補償板を用いた部分的コヒーレンス度の測定装置がランダムマイザー(randomizer)18からのビームのこの特性を検知するため置かれる。そのような装置は「準単色光源の像に於けるコヒーレンス度(S. Mallick, Applied Optics, Vol. 6, No. 8, August 1967, pp. 1403-1405)」と題された論文での報告に従って用意できる。装置36は部分的コヒーレンス度に応じた信号を可動コーナースキャン鏡24と結合されたPZTアクチュエータ34を動かす制御回路38に返す。測定装置36による部分的コヒーレンスのコントラストの読みによって、アクチュエータ制御38はPZTアクチュエータ34を駆動し、レーザ12から出たパルス・発光の際で、像での小さい可変的な(60ミクロン程度の)動きの増分を起こす。これらの発光は一秒に150-200回繰り返り、(1パルスの発光)時間が短かいため、またコーナースキャン鏡24は非常に小さな角度で動けばよいから、異なった発光源からの光を適当に空間的にランダム化することは、必要な程度まで、かつ可能な間隔内で、直ちにできる。

他の例として、第一の面19を回転ディスクの一部として形成し、得られるランダム性の度合いを変えるために回転速度を少し変えることによって、準ランダム位相面19、27の間での相対的な動きを作ることとも可能である。

結像リレー・レンズ26と第二のフィールド・レンズ29も1:1の関係でレチクルマスキング装置22をフォトマスク平面42に配置されたフォトマスク40の上に結像する。この例に於いて、この平面でのビームはレチクルマスキング装置22によって、適当な解像度の許容範囲(±0.005")で、一辺が1.5インチから4.5インチまで連続的に選択できる矩形に開口が制限される。

空間的コヒーレンスのランダムマイザー(randomizer)18の重要性は、それがビームの平均ラグランジュ積を増加させるということからより明瞭に理解できる。エキシマレーザ12から出たレーザ・ビームは約 $1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ ster}$ に制限されたラグランジュ積を持つ。これは一つの典型的な露光(約0.3秒)で、狭帯域化されたエキシマ・レーザ・ビーム中に多くの光源があることを示す。いずれの瞬間でもレーザから出てくる $2.2 \times 5.4 = 12.2$ のオーダーの統計的にインコヒーレントな空間モードがあることを示すことができる。また、一つのバ

ルスに20の波長、0.3秒毎に150パルスがある。従って、レーザは、露光毎に $1.22 \times 10^4 \times 2 \times 10^4 \times 1.5 \times 10^4 = 3.66 \times 10^8$ の統計的に独立な光源を提供する。しかし、光源が、所望の空間的なインコヒーレンス度を像を照明するためには、像の各点は約 10^4 個の光源で照明されなければならない。ウェーハ面の像の寸法で割り当て約4000本の解像ということから導かれる必要な全部の光源の数はおよそ

$$10^4 \times 10^4 / (1.75)^2 \times 10^4 = 3.27 \times 10^{11}$$

これが露光毎に必要な統計的に独立な光源の全数である。レーザ・ビームは従って、一様にしかも空間的にはインコヒーレントに照明された像を形成するためには約 5×10^4 分だけ足りない。フォトマスクを透過し結像レンズへの入射円筒光束内ビームのラグランジュ積は約次の通りのはずである。

$$2.56 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ ster}$$

第一及び第二の準ランダム位相面19、27の各々は像の大きさ全体にわたり主光源の高さに実質的に影響せず、約 2.1×10^4 分だけビームの角分散(angular divergence)を散乱させる。これは、システムにとって望ましい 5×10^4 分の全体の増加に結びつく。ラグランジュ積は従って 5×10^4 分まで問題である。この問題は自発的に行なうこともできるが、選んだ境界内の値に維持するために、ある特定の像の大きさと露光特性に対して、操作者が部分的コヒーレンス度測定装置36から得られた読みに従ってアクチュエータ制御を予めセットしておくだけで十分である。空間的コヒーレンス長の調整範囲は、フォトマスク40にて約1.5ミクロン、これは実質的にインコヒーレント光であることを示すが、この値から約15ミクロンまでとできる。

その結果、光波エネルギーはウェーハ面で約±1%の強度で4インチ×4インチ(4"×4")のマスク平面に分布し、その振幅は±1%の範囲で調節できる。露光時間0.3秒で供給される所与のエキシマからの全エネルギーはウェーハにて 1.50 mJ/cm^2 より大きくなる。

しかし、所望の度合いまで空間的コヒーレンスをランダム化することは時間的コヒーレンスまたはこの統計的に異なる複数の光源における各々の光波の周期的予測性(predictability)に影響を与えることはできない。位相プレートにより合

成波面中に繞って生じる位相の遅れはビームの分布全体に渡り変化した、可能な遅れ量は相当に大きい。時間的コヒーレンスは、その大きさのオーダーが、波面が正確に再構成されるために可能な遅れより大きくなるよう維持されなければならない。また、この際で、多くの位相遅れの増加的变化(100波程度)がある。これらの位相調節を適当に行うために要求される時間的コヒーレンスはそのシステムで予定している遅れの最大の波の数の約50倍である。エクソン同調レーザはコヒーレントな1つの波長内に124000の波(の数)を与え、この位相調節手段に要求される約25倍ぐらいとなるが、このファクターは時間的に独立な光源の最大可能な数を与えるのに反するよう作用する。これらのことは時間的コヒーレンスを約5000波まで減らすことにより確かめられるが、しかし、逆にこれはレンズ設計で色収差問題を引き起こす。従って、このファクターは10000から約100000に維持することが望ましく、前者の値がこの例では仮定されている。レーザ露光制御44によって、1回の露光でウェーハ面に人射する光の量を選択的に決めることができる。このレーザ露光制御はレーザが連続的に発光している間引き出されるエネルギーを積分し、選定したエネルギーが供給されたら、露光を停止する。以下に説明するアラインメントシステム46は光軸に沿って独立にはたらく、第7図と一緒に以下に説明するように、紫外以外の波長が通る環状ビーム(典型的には赤あるいは青)の向きをビーム結合鏡28及びいろいろな光学素子に向ける。

図では一般的に示しているが、フォトマスク面42とウェーハステップメカニズム54のXY軸駆動システムにより、レジストをコートしたウェーハ52を正確に位置決めしたウェーハ面50とフォトマスク面42との間に結合光学システム56が配置される。光学システム56は屈折素子と発明のいくつかの特徴を具現しているホログラフィックな波面の調節手段の組み合わせを含む。図示した配列では、システムはコリメーター・レンズ群58を形成する一組の三枚の屈折レンズ素子、レンズ・システムの臨界開口(critical aperture)に置いた一つの複数プラトー位相プレート60、そして5分の1に縮小した像をウェーハ面50に投影する4枚のレンズの対物レンズ群62より成る。レンズ群58、62そして複数プラトー位相プレート60の相互の間隔は屈折素子の数を減らしつつ屈折レ

ズ的设计を簡単にする、また、解像だけでなく、焦点深度、コントラスト及び効率に寄与する波面の調節の高い効果を得ることを共に考慮し決められる。

そのレンズ集合体は球面の石英素子を含み、位相プレート60は、新しい合成波面を与えるため像の成分を領域的に調節する波面の位相遅延及び再配向システムを含む。統合光学システム56は像面側でテレセントリックで、位相プレート60及び臨界開口(critical aperture)での放射束は正確には平行でなく、若干発散している。石英の素子は、球面収差多項式(の分)を除きいかなる程度のすべての収差成分も、球面素子によって半徑、位置、面頂間厚さ、間隔として与えられる自由度を利用して、打ち消されるように、また、位相プレートにより臨界開口(critical aperture)で起き半径方向に変化する位相遅れも考慮して設計される。球面収差はしかし、位相プレートの半径方向に変化する位相遅れにより完全に補正される光路差約75波分に制限される。位相プレート60の対物側素子について3枚は近似的にアプラナティックな群として設計され、四番目は像面に一番近い負のメニスカスであり、像面を平坦化する性質があるためよく用いられる。コリメーター群58の3枚のレンズは累積的に、また位相プレートと組み合わせると、システムのコマと非点収差をなくすることに大きな役割をになっている。更に、球面石英レンズは、色分散を波長に対する屈折率の変化の割合、即ち $dn/d\lambda$ とすると、負の色分散を持ち、本発明の一つの特徴は位相プレート60に示される透過グレーティングが少し正のベースのパワーの曲率のベンディング効果を起こすことである。この曲率は色消し条件を作るため、小さなレーザバンド幅範囲でのグレーティングの色分散が球面石英レンズの色分散に十分適合して打ち消されるように選ばれる。このベースの球面のパワーはスケールファクターが非常に小さいので、図示できない。

照明系10からの光波エネルギーは実質的には単色と見られるが、しかし、エキシマ・レーザ12のようななどの様な光源にもバンド幅あるいは色の広がりがある。もしこのバンド幅を極度に狭くすると、それは得られる光のエネルギーを減らし、空間的コヒーレンスの問題を増す。本システムにより提供される色消し作用の能力はエキシマ・レーザ12の0.003nmから0.02nmまでの色の広がり範囲を0.03nmあるいはそれ以上に広くすることを可能にする。従って照明

特開平2-1109

系は実質的に単色でなければならないが、システムとしての得られる付随的利点を伴いつつ、いくらかの色広がりは補償できる。

位相プレート60の中心部分に隣接し、第2～4図を参照しつつこれから説明する内側基準リングの外から始まる一つの領域は、位相プレート基板64にデポジション又はエッチングにより極めて低い最大高さでマイクロソングラフィ的に起伏をつけられた面を含む。起伏をつけられた面は多数のリング68の形で構成され、各々のリングは増加する高さが正確に決められたデポジットされるSiO₂の細密な積層プレートまたはリングを含む。代表的なリング68はその半径位置と非線形的な関係がある半径方向の寸法を持ち、高さ零から最大7/8波長の高さまで1/8波長毎に光学的遅延を増加させる8つのプラトー70のレベルがある。第2～6図における位相プレートの図でその関係の概略を示す。第4図から分かるように、各々のリング68で、プラトー70は代表的には(基板64に対して)高さ零から連続的なステップで最大7/8λの高さまで漸進的に変わる。248nmの波長で、1/8のプラトーの高さは約61nmで、7/8の高さは約427nmである。リング68の半径方向の最も狭い幅は(位相プレート60の外縁で)8ミクロンのオーダーであり、各々のプラトーの半径方向の最小寸法はおよそ1ミクロンとなる。リング68に占められる半径方向の寸法が変わるので、含まれるプラトー70により決められる合成的起伏の傾きが変化する。ここでは一断面の場合を示している。傾きは3.49°以上であり、波面の曲がりは約2°である。最大の波面の曲がりはこのタイプのブレースド・グレーティングを通る光エネルギーの高効率の透過を達成するため約5°に制限される。プレート上のトラックの高さの差は、最大で入射単色光の波長を、その通った波長にて、プレートの屈折率から1を引いたもので割った割合に比例する。

各々8つのプラトーのリングが約200あるが、これらは規則的に続くわけではない。導入される位相遅れの位相が反転する6つの別個のグループ(80～85)内で連続的なリングが配列される。一連のグループ(80～85)はその位相が0, π, 0, π, 0, πといった形で変わるように配設されている。この例では、これらの円形の相対半径が次の表で示したように決められる。

円形境界の半径	位相
.99～.80	0
.80～.65	π
.65～.40	0
.40～.30	π
.30～.20	0
.20～.0	π

細かく分けられたリング68と細密に分けられたプラトー70のある複数プラトーの位相プレート60が介在することにより、波面に沿って空間的に分布した形で、開口半径の関数として、増加的で波長と関係した光路長が付け加わる。位相プレート60の厚さの差は非常に小さくこの所では遅れは7/8波長あるいは約427nmより大きくはならない。しかし、光路が実質的に単色であるので、位相基準に対して波面を揃えることで解像は維持される。従って第3図から分かるように、その効果は、屈折率単色光により形成される合成波面の累積的遅延による。第4図から分かるように、屈折光学素子が合成波面を曲げる場合も、位相は揃ったまま維持される。しかし、位相プレート60が後に続く屈折光学系での収差を前もって補償すること、その様な補償は第3図と第4図で示していないということは注意すべきである。

位相プレート60はより特定のにはブラッグ条件(regime)で作用するホログラフィックな素子として、屈折素子と組み合わせる形で非球面として、その両方として機能する。非球面特性の結果として、屈折光学系の設計では許される範囲の残存球面収差が波面全体に渡り、必要な(部分)量だけ補正され、それと同時に、他の幾何光学的収差と色収差も打ち消される。臨界開口(critical aperture)で向けられる複数の点光源は独立した波面成分として再配向されるので、位相プレート60の区分(80～85)も独特の形で光を像面内に再分布させる。位相プレート60内の個々の位相反転は、数多くの有益な効果と伴う共同的な結果を可能とするシステム内に複数の階を定めることになる。

この分野に熟知した人なら、プラトーの数をこの例で与えられた8つから変えてもよいということも理解するであろう。規則的な一続き(progression)におい

てλ/16毎に変わるプラトーを16個用いると、製造の時間と問題が増大するが、ブレース角をより滑らかにし、また、より高効率にできる。

この場合でも既に記した様に累積的に二維的な一連の方法手順を行うことによりこれらのレベルは実現できる。逆に、ある応用に対して許容できるなら結果としていくらか粗くて効率の低いグレーティングとなるが、もっと少ない数(例えば4)のレベルを用いることもできる。

この光学システム設計で求められる主要な特徴は解像の増大、サイドバンド強度の減少及び焦点深度の増大であり、これらすべてが複数の階を定めるリング68の配置を利用することによって向上される。第5図と第6図から分かるようにπの位相反転が必要な所ではプラトー70の規則的な連続性は位相ステップ68の外側で中断される。その後、プラトー70は次の中断が起こるまで零から七番目までの順で連続的に変わる。別々の階からのビーム成分が再結合され、合成波面を形成する時、別々の階からの像の微妙なずれがすべてのあるいは多くの注目すべきファクターが向上するのを可能とする。数多くの円形の組み合わせを解像、焦点深度あるいはコントラストを強化するために採用できるということが認識されるであろうが、2つ、3つ、そして4つといった半径の異なる配置のπ位相反転が特定の応用には有益だということがわかっていく。図に示すようにこれを6つ(80～85)にするのがウェーハスチーパーへの応用には望ましい。それはこれらの複数の階が、コントラストを維持しながら、焦点深度を増加させ、これらファクターは半導体製造工程で極めて重要だからである。それに加えて、完全な(unobstructed)エリアー・レンズ以上に解像を上げることも実現される。

位相プレート60を越えて伝播するビームの波面の再分布は完全不透明あるいは部分透過の環状リングあるいはリング配置を用いて行うこともできる。レンズ・システムの設計解析で性能を限定するビーム成分を打ち消すあるいは減らすために望ましいとわかった所なら、どこにでも不透明なリングを置くことができる。

光学設計について、本発明によるシステムは収差をバランスさせるのにかなり大きな設計自由度を与える。Hopkinsが「収差の波動理論」(Wave Theory of Aberration', Clarendon Press, 1950, pp. 50)で議論しているように、光路差は多項式として解析でき、この光路差は物体上の一点hを出て、半径がρ、子午角が

φで異なる点を通過する光線の任意の組の間で、暗あるいは臨界開口(critical aperture)に於いてρ=0でhから出る主光線の光路とを比較して取られる。展開の後、多項式のそれぞれの項は、ρだけ含む項(システムの球面収差を表す級数)、ρとhだけ含む項(それを「球面型収差」と見なしてもよい)、そして、h、ρ及びcosφのあるべき乗の項に分けられる。ρとhだけを含む項は像面湾曲(収差)と関係があり、h、ρ及びcosφを含む項はコマと非点の収差を含む。

臨界開口(critical aperture)に置かれた位相プレートはそれぞれの光線に対して半径と光線が臨界開口(critical aperture)を通る時の角度に依存するあらかじめ決められた関数として光路の遅れを加える。球面収差は半径だけに依存する軸上の収差であるため、臨界開口(critical aperture)で正しい高さで適当な位相遅延を起こしてやればすべてのオーダーの球面収差を完全に補正することができる。

多項式展開での全ての球面型収差の項は位相プレートによって対称的に扱われる。レンズ設計者の役割は残っているコマの項と非点の項を、それらが相互にバランスし、またそれらの残留(収差)が位相プレートにより起こる半径方向に変化する遅延をバランスさせる所まで減らすようシステムの屈折素子を選ぶことである。

この分野に熟知した人なら、この収差のバランスは技巧的なレンズ・コンピューター・プログラムで普通に行われるが、しかし、cosφの各々のべき乗成分を含む項の補正は独立して零あるいは零近くまでバランスさせられることが必要であるということも理解するであろう。位相プレートはすべてのオーダーの球面収差を潜在的には取り除くという事実は設計手順の残りの部分を非常に簡便にし、また、かなりの少ない素子(数)で解を与えるのを可能にする。

要約すると、このシステムは予測できる(predictable)周期性と空間的なランダム性を持つ一連の時間的に変化する光波の微細構造の再配分を用いることにより動作する。エキシマー・レーザーからの連続的突発光(bursts)を利用して、均等に分布した光が複数光源として、全光路の間隔にわたり、ホログラフィックな位相プレート素子上に表れる。位相プレート60で、効率の高い透過を保ちながら、ビーム波面での位相調節が達成される。このシステムは合成波面の全体に渡

特開平2-1109

り1/10波よりよい程度を与える。このシステムは現在存在している顕微鏡像の限界を克服しつつ、従来使われて来たものに比べて、球面石英レンズ素子の数を減らすことを可能とする。照明ビームの限定されたバンド幅は、位相プレートの特性和相俟って球面収差と色収差との十分な補償を可能とする。

レーザー以外の光波エネルギー源も、必要な特性を持っていれば使うことができる。例えば、いくつかの水銀アーク光源の個々の発光線(line)がこの要求を容易に満足する。このことはKevin Burns と Kenneth B. Adams の論文 ("Energy Levels and Wavelengths of the Isotopes of Mercury -199 and -200", Journal of the Optical Society of America, vol. 42, No.10, October 1952, pp.717-718) に見ることができる。その論文の、Hg199 のある線に対する線輝度を示す表1 aは、必要な時間的コヒーレンスを示している。これらの線はランプ放射の256 nmのバンドと一緒に含む。従来の方法で色消し(バンド全域にわたって計算される)の問題を解決していることから、これらの線の成分のそれぞれが利用できる十分な時間的コヒーレンスを持つ光源であることがわかる。

もう一つの例をあげると、その論文の表1 bは、365 nmのバンドのHg199の詳細を示している。ここで、色消しの問題は従来の方法で解決されており、従って位相プレートを従来のように、しかし非常に汎用性のあるパワーの小さい非球面レンズとして機能するように設計することもできる。その様な設計の結果、必要なガラス素子の数が減り、またその性能も改善される。位相プレートはブラッグ・グレーティングとして、中心波長が最大の効率を持つように計算される。しかし、表1 aと表1 bをよく調べると、所与の放射バンドの頂点から下までのトータルの広がりは1000分の2より小さいということが分かる。従って同調は比較的小さい問題である。

位相プレート技術を365 nm, 404 nmあるいは438 nmのような時間的コヒーレンスの高い光源がえられるものより従来のものに近づく波長領域でのレンズ設計に適用すると、その技術は著しい簡便さをもたらす。というのは、より高次の非球面を、設計の要求からだけでなく、球面素子そのものの小さいが実際にある理想からのずれを補償するために、規定できかつ正確に形成できるからである。

フォトマスク面42の上に集束し、フォトマスク40上の基準パターン領域を照明する。その後、このビームは光学システム58に入り、位相プレート60上の複数のプラトー・リング88領域を被うような環状の面として再び結像され、またレンズの組58, 62によってウェーハ52上に集束及び再結像され、そして反射した光路にもどされる。反射した光の基準パターンはダイクロミックコーナ反射器97を通過してアライメント検出器99に到達する。検出器は直接と反射の基準像を比較し、必要なオーダーの精度のある既知の方法でウェーハの位置決めをするためウェーハステッパ54を制御するアライメント信号を作る。

このように、第1〜7図のシステムはウェーハの位置決めをするのに必要な正確な同調を可能とする非干渉的なアライメント・システムを統合的に含む。外側のリング88は集束用の同心リング68と同じ中心軸に直し配置できるので、同心性が保証される。

位相プレート60の上で正確に配置された同心トラックを定めるための直描システムの主要な素子が第8図に示されているが、ここではこの図を参照する。ここで位相プレート60は精度の高いエアスピンドル110の上にマウントされ、このスピンドルは安定な例えばグラナイト(花崗岩)のベース112にある凹部111内の空気軸受により回転する。スピンドル駆動装置114は磁気式あるいは空気式のいずれであってもよいが、例えば25 rps のような決まったレートでエアスピンドル110を回転させるように結合される。エアスピンドル110の上面に置かれる位相プレート60は、直交X, Y軸に沿って完全ではないが実際に十分な精度で位置決めされる。これはエアスピンドル110の周辺にあるボスト117から延びる高精度な調節ねじ116による。空圧源118はベース112内の導管119を通じ、エアスレッド120に対してエアスピンドル110の中心軸の垂直位置と水平位置の両方を保つよう圧縮空気を送り出す。しかし、見て分かるように、中心軸に対して位相プレート60の位置を決めるのに応出しシャフトあるいは他の機構は使われていない。エアスピンドル110の上部に隣接したエアスレッド120はエアスレッド120の下に突き出る空気軸受式フットパッド(foot pads) 121と水平に伸びる空気軸受式サイド・パッ

第2図と第5図をもう一度参照しうと、位相プレート60は、リング68により規定されるブレース透過グレーティング領域の外側に、多数の分離した同心透過板状プラトー・リング88を含む。これらのリング88は同じくSiO₂から成りフェーズレンズ60を与えるべく、基板表面にデポジションまたはエッチングすることにより形成される。リング88の幅と傾きはより長い赤の波長に対して選ばれる。その波長はフォトマスク40により定められる像が結像されるウェーハ52のアライメントに用いるものである。従って、幅と傾きは紫外線露光で用いられるリング68のものより大きくなるが、8段階に高さが増す手法は同様に用いられる。層を2値的に累加したりあるいはエッチングしたりする同様の工程が用いられるが、用いられる厚みがより厚いため、リング88は普通にはリング68と別に形成しなくてはならない。

リング88の目的は同時に光学システム58, 62と組み合わせるウェーハ52の上にビームを集束させ、信号が、基準参照マークを有するフォトマスク40に対するウェーハ52の正確な位置を示すように発生させるようにすることである。ウェーハ52上の基準マークは単独で検知することもできる。

赤の波長はウェーハ52上のフォトレジスト層に影響しないため、それを紫外線の照明と同時に用いることができる。ここで第7図を参照するとアライメントのためウェーハ52上に精密に集光した基準ビームを与えるためのアライメントシステム46が示されている。

このシステムはスペクトルの赤の部分にある633 nmの単色波長を持つHe-Ne(ヘリウム・ネオン) レーザーを利用する。レーザー90はガウス分布した狭い出力ビームを発生し、そのビームはビームエキスパンダ91によってもっと広いパターンに広げられる。この広がったビームは第一と第二の被浸した非球面93, 94によって一つの環状パターンに変えられ、第一の非球面はリング状の分布を作り、所与の半径上に集光する集束ビームに光を形成し、一方、第二の被浸非球面94は、環状パターンを形成するようビームを事実上コリメートする。この環状パターンは第一のコーナ反射器96とダイクロミック反射鏡の第二のコーナ反射器97で反射され、第1図のシステムの集束ビームの光路中に入る。環状ビームは第二のフィールド・レンズ29と組み合わせるレンズ95によ

ド(side pads) 122に集ってスピンドル110に対して横方向に動かすことができる。フットパッド121はグラナイト(花崗岩)ベース112の上面基準面の上で浮上させる形でエアスレッド120を支え、一方サイド・パッド122はグラナイトベース112の垂直延長部126(又は、ベース112と固定された関係の分離した部位)の垂直側面基準壁125からの小さな距離を一定に保つ。エアスレッド120をブロック126上で垂直基準面の方向に機械的に偏位させる方法は示されていないが、空圧源あるいはサーボ機構を含むこともある。側面でのこの空気軸受は、従ってエアスレッド120が壁125に平行な方向あるいは位相プレート60に対して半径方向に動くことができても、側壁125からの距離は正確に維持される。空気軸受に加圧する内部の導管は詳しくは示されていない。

エアスレッド120は、高剛性なステンレス鋼製造の、エアスレッド120と結合されたバー132につながるアクチュエータ130によってブロック126の垂直基準面に平行な方向で位置決めできる。バー132のアクチュエータ130によるこの軸に沿った移動は位相プレート60の半径方向位置とエアスレッド120の上に設けられた偏向システムからの書き込みビームの半径方向位置を変えるが、これについて以下詳しく述べる。位相プレート60の環状の位置決め制御のため、エアスレッド120上のレトロ反射器134はレーザー・ビームを干渉計(ヒューレット・パッカード社モデル5110Fでもよい) 138に渡す。この干渉計138とアクチュエータ130を制御するガイド位置決めサーボ138で、エアスレッド120とエアスピンドル110の位置を常に1ミクロン以下に維持することができる。位相プレート60上のトラックの位置は、磁気あるいは光データディスク用のマスタートラック書き込みシステムの形式の、コンピュータ148とデータ収納部148を含んだトラックデータ収納部及びシーケンシステムにより定められる。データ収納部148は正確なトラック位置、トラック幅及びトラック・パターン変調に関する必要な情報を保持する。コンピュータ148の制御のもとで、トラックパターン変調信号はデータ収納部148から読取駆動部150を通過して書き込みビーム制御に送られる。これについて以下詳しく説明する。

特開平2-1109

これまでの記述から分かるように、エアースレッド120は直交する2方向の各々に対しかなり高い精度で位置決めされる。この位置の一つはアクチュエータ130の制御のもとで位相プレート180上の異なるトラックを巡るよう変化する。エアースピンドル110自身は図解111内でその名目上の軸に平行な空気芯出しされ(air centered)であり、位相プレート80はエアースピンドル110上で周辺にある位置決めねじ116によってある程度大まかに固定される。

最終的な正確で動的な位置決めのために、システムは位相プレート60の外縁に配置された基準リング151に対してレーザー・ビームを偏向する。これらのリング151はクロムあるいは他の不透明材料でできており、フォトマスク上の高精度リングを用いたデポジションあるいはエッチング工程によって、前もって位相プレート60の上に作られる。しかし、また、これらは直接シーケンスによって位相プレート60が最初にエアースピンドル110上で芯出しされる時、その周囲の表面に分離して作ることもできる。この手法が本例では用いられる。これらリング151の約20個は、位相プレート80をその任意に決めた芯のまわりで回転させ、フォトリソグラフィ技術あるいは高精度なカッティング技術で円盤を作ることにより1.5ミクロンから4.0ミクロンまで変化する特定の幅と間隔のものとして組み入れられる。そしてリング151は手動調節の間の位相プレート60のその後の各々の再位置決めのための、また更に微小な偏心を補償するための書き込みレーザー・ビームの動的調節のための芯出し基準として利用される。従って、機械手段では一般に不可能な精度が達成できる。

グラナイトベース112の上に設けられた観察及び検出システムは、最初の、及び動的な調節のために用いられる。支柱152は基準リング151を機械的に位相プレート60の、ある固定位置まで延びるアーム154を含む。自動焦点のための従来のような光源やボイスコイル・アクチュエータ・システムは簡単のためにここで示していないが、しばしば用いられることになる。位相プレート80に近接したレンズ156により、光源157の像を写し、ビームスプリッター158から第2のビームスプリッター160を経て、接眼鏡162へ反射させる。光源157の波長は位相プレート80上のフォトリソ材料が反応する波長とは異なる。接眼レンズ162を通して操作者は基準リング151の相対位置を見て、

位置決めねじ116を調節して、エアースピンドル110上の位相プレート60の大まかな芯出し(例えば約1ミクロンまで)をすることができる。

その後の書き込み操作の間、幾つかの(例えば20)基準リング151がビーム・スプリッター160を越えてミラー161へ、更にレンズ164を越えてレチクル168上に結像される。レチクル168は、基準リング151の特定の幅と間隔に対応する不透明な線168を有し、その上に位相プレート60からの反射リング像が重なる。位相プレート60上の反射基準リングの間の空白間隔がレチクル168上の不透明な線168とちょうど重なった時は最大信号が与えられ、リング151の反射した像がレチクル168の透明な線の部分に重なった時は最小の信号が与えられる。パターンでいくらかの偏みがあると、レチクル168の後方の光検出器170が前置増幅器172を通し、偏心変動に伴う正弦波状に変化する信号を与える。この正弦波状変化の周期は比較的長く、回転レートで決まる。代わりに、レチクル168は与えられた角度内で基準リングの像による線の数より少ないかあるいは多い線を含んだものを用いることもできる。これは、ある決まった形で基準リング・パターンと相互に関連するパターンを形成し、振幅が偏心変動と関係した交番信号が発生される。

この偏心変化は位相プレート80に向かう書き込みビームの半径方向での位置を決め、偏心を0.1ミクロン以内に保つために利用される。この目的のために、安定なグラナイト基準ベース112にレーザー180が固定され、レーザー・ビームは、固定された反射器181からエアースレッド120の上に設けられたハウジング182へ向けられる。ビームは反射器181から音響光学変調器184へ偏向される。レーザー180はその波長がフォトリソを効果的に露光し、定められた像を形成するように選ばれる。変調後のビームはコーナースキャン186、186から一對の反射器187、187へ向かいハウジング182の側方アーム189の中の音響光学偏向器188を越えて、その後、ミラー190で偏向し、レンズ192を越えて位相プレート60のある下の方の領域に集光する。ここでも従来の自動焦点システムを使えるが、それは示していない。音響光学変調器184は変調駆動部150から変調信号を受け、音響光学偏向器188は偏心センサー回路170、172から制御信号を受ける。偏向器188はトラック

に当たるレーザー・ビームの半径方向位置をエアースレッド120の位置により決められるビームの名目位置に対して変えて、光検出器からの信号に応じて、獲った偏心を取り除く。

サブミクロンの分解能が、光学システムに対しプラトーを配置する際に達成されるように、位置決め精度が望まれるとき、特別な考慮が装置の校正にしなければならない。装置を校正するためには、位相プレート80そのものを基準として利用する。外側反射基準リング151に加えて、フォトリソグラフィ技術によってあるいはクロム表面に描いて、位相プレート60の中心に非常に近いところに第2の組のリング193を書き込む。これらのリング193を一般的に図2と図5で示す。外側及び内側基準リング151と193それぞれを初めの回転中心に対し、中心を同じくして書き込む。この初めの回転中心は位相プレート60を回転エアースピンドル110上で位置決めすることによりある任意の制限内に定まるが、この時点ではそれ以上正確にはわからない。測定と計算の手順は一人の操作者によって行うことができるが、校正のためにリングの位置を正確に決めるのに干渉計136とコンピューター146を含む図8のシステムを有効に利用できる。エアースレッド120はレーザー180のビームと反射信号を検出する図8のセンサー(示されていない)を伴って半径方向位置の全長に亘り移動する。この検出器は各々のリングを集光ビームが通過する間、信号変化を与え、そのパルスのおおのはトリガー信号として利用される。干渉計136の読みを同時に取って、データ・プロセッサでそれをトリガー信号と相関させる。この様に、最初は外側の組151の各々のリングが検出され、干渉計136からの干渉縞の数は半径方向位置の正確な表示としてコンピューター146に入る。半径方向の走査は内側の組193を通り中心の周囲で実行され、それぞれの分離したリングが基準点を通った時、トリガーがかかり読み取る。コンピューター146を使って線形回帰を行い、正確な平均値を計算し、回転中心を非常に高い精度で決めることができる干渉計136の測定を利用して、外側リングの組151の、この計算による中心に対する半径方向の距離を決めることができる。この計算はその時の温度、圧力及び光通といった条件に対して正確な校正を行うことを可能にする。後の校正と比較するため規準が設定され、全ての有意の変動に対して小

さいが有意の補正を計算することができる。こうして、干渉計の測定値を利用して複数プラトーの半径方向での位置を決める時、その精度は $\pm 1/10$ ミクロンに維持され異なる領域での位相遅れが保証できる。

従って、操作において、名目上中心となっているエアースピンドル110と位相プレート60は決められた規準に対し、位相プレート60に連続トラックを書き込むのに必要な高いオーダーの精度まで初めに精度よく置く必要はない。マイクロソグラフィの工程を始めるに際し位相プレート60の中間領域にフォトリソ材料を塗布した後、操作者は基準リング151を観察することにより、位置決めねじ116で、初めに位相プレート80の概略位置を決めればよい。エアースピンドル110が回転している状態に於いて基準リング151に対するどの様な偏みがあっても長い周期の正弦波状の偏心信号が発生され、偏向器188による偏心の動的補正が行なわれることになる。逆の、即ちエアースレッド上に偏心センサーを書きレーザー・ビームを固定する配置をとることもできるということがわかるであろう。しかし、ここで示した配置がエアースピンドル110に対してより良い安定性を与える。

スピンドル駆動サーボループは所望のリングの半径方向位置とわずかに異なる位置に駆動する可能性もある。しかし、この違いも音響光学偏向器によって加えられるビーム補正の成分として補正される。外側及び内側基準リングを、それらのリング間距離と幅を規則的でない形で配列することによって、有利に配置することができる。基準(リング)の組のリング間隔の配列は、純規則的から疑似ランダム、ランダムあるいは例えば数学的級数による関数的な配置まで変えることができる。

従って、複数リングの組の中の各々のリングの間隔は、配列間隔の特性から可能となり、一つのリングが他のリングと間違えられと生ずるあいまいさが避けられる。リングをこのように規則的でない間隔で配置することの要する利点は以下に説明する偏心センサーシステムの光検出器から来る特有の誤差信号がその誤差曲線に於いてあいまいさも位相反転も含まないように形成できることである。

位相プレート60の始めの表面処理、独立のフォトリソグラフィ工程あるいはエアースピンドル110上にある時のカッティングのどちらかにより外側基準

特開平2-1109

リングが作り込まれた後、一つの代表的な位相プレート60への直描工程が始まる。どんな時でも位相プレート60をエアースピンドル110上の保持システムから取り去り、必要な深さまでフォトレジスト層を塗布することができる。この層は複数プラトーレベルが形成されるべき領域がその中にある基準リング151を含んだ領域全体に亘り設けられる。フォトレジストが実質上赤色光に対して透明であるので、偏心検出器で基準リングを見ることが出来る。

次に位相プレート60がエアースピンドル110の上に再び配置され、操作者は最初に接触部162で観察しながら、概略、芯が出るまで、手動で回動を行なう。その後、エアースピンドル110が決められたレートで回転し、レーザーが選んだトラック位置に集光され、トラックが前もって決められた幅で書き込まれる。トラックのそれぞれの書き込みに従って、エアースレッド120の位置がコンピュータ146の命令のもとでのアクチュエータ180によって別の半径方向のトラック位置へ再位置決めされる。次のデポジションあるいはエッチング段階の後、そのプラトーレレベルを持つことになるすべてのトラックに対し完全に露光が行なわれるまで、他のトラックが連続的に書き込まれる。

それとは別の手順としては、エアースレッド120をスピンドル1回転で0.1ミクロン・ピッチという一定のレートで動かすことである。このように作られたスパイラル・パターンは断続的駆動によって形成された円形パターンと実効的には区別できない。

そして位相プレート60をエアースピンドル110上の位置から取り去り、光露光された像を固定して、決められた像を残すよう現像されていない部分を落とす。その後、デポジションあるいはエッチングを必要なレベルまで行ない、固定したレジスト層を全部落し、代わって、次のトラック・グループのパターンを書き込むため新しいレジスト層を置く。その後、この手順を繰り返す。すなわち、フォトレジストを露光し、固定されていない部分を洗い落とし、次のプラトーまでデポジションあるいはエッチングし、そしてもし必要があればこのサイクルを再び繰り返すことができるよう固定されたフォトレジストをもう一度取り去る。

高精度同心トラック位相プレート上に直接書き込むこの方法によって、デポジションあるいはエッチングされるプラトーの各々のレベルに別々のマスクを作っ

て置くということが避けられる。このことは超高解像システムにとり、特に重要である。このシステムに於いては、仕上げられたレンズ要素の実像の特性に応じ最良の補正を施すため、計算によって位相プレートは個別化される。この目的のため、最初にレンズ要素を設計し、決められた理想特性に最も近い状態まで、研削研磨する。その後、これらの要素の理想からの程度と内容を解析し、実際の特性に合わせた補正が計算される。この情報は計算され、ディスクファイル、テープ送りあるいは他のメモリーシステムのようなトラックデータ収納部に入れられる。校正した値に基づいてトラック・データ収納部の内容を更に修正することができる。このような個々に応じた調整は個々のシステムに最大の解像を与えることができる。

このすぐれた方法はデポジションあるいはエッチングに個々のマスクを用いることを不可能としない。その方法をそれぞれ第9図と第10図で示す。この二つの図は段階的手順によって、決められた高さの八つのプラトーの規則的なつながり（明確にするために第9図と第10図では誇張されているが、紫外波長に対して、一般に427nmより大きくならない）がどう形成されるかを示す。プラトーの位置は、一番低いプラトーから一番高いプラトーの範囲に等から七までに設計される。簡単のため、いくつかの段階は組み合わせられる。

まず第9図を参照すると、第1のマスク200が用意され、従来の形の密着転写機構を用い、基板表面に塗布された第1のレジスト層202の上に密着して置かれる。三つのデポジション段階だけで八つの異なる層を得るために、デポジションが2値的に、層の厚みが波長（を単位とした）最小増分の倍数で変わるよう行なわれる。用いるレジストはポジのものであってもあるいはネガのものであってもかまわない。ポジかネガかによって第1マスク200を通じて露光された後、露光されたあるいは露光されなかった領域のどちらかが洗い落とされる。同様に、マスク上での像がポジであっても、ネガであってもよい。この例では、ポジのレジスト材料を用い、光を受けたフォトレジストは固定されず、洗い落とされるが、一方、未露光部は固定される。洗浄後、基板上の逐次された材料のパターンは第9図の第1のマスク200で不透明とされた領域に対応する。ペーパーデポジション工程を用い、またペーパー状シリカが基板204に堆積するとき、その厚

さを監視することによって、第9B図から分かるように、第1のプラトーが位置1、3、5及び7に作られるがレジスト層202は洗い流されている。第9C図に示されるように、その後、第2のレジスト層205が置かれ、位置0、1、4、5を隔す第2のマスク206で被われる。第9D図に示されるように、マスク206を通じて露光し、マスク206を取り去り、そして洗浄した後第2のプラトーをデポジションし、すべての露光領域に第1（プラトー）の二倍の厚みを加える。第9D図から分かるように、この手順は基板を残す。位置0、4をゼロ平面として始まる2つの4段階手順があるということが分かるであろう。第9E図が第3のマスク207の適用を示す。すなわち、それが第3のレジスト層208の上であって、露光されたフォトレジストを除去した後、4つ分の高さの層が付加され、0-7（第9F図）のプラトーの規則的な継ぎながりが残るよう位置0-3をおおう。一連のマスク200、206、207を置く際、位置を正確に決めるために、位相プレートの外周の基準リングが引用される。マスクを用いる順番を逆にして同じ結果を得ることも可能である。

第10図は一連のプラトーを基板にエッチングする手順を示す。マスクの透明な領域は物質が基板から除去されるレジスト層の領域を示す。同様な3段階の層形成手順が用いられるが、プラトー形成の順番が逆になり、最初に一番深いエッチングが行われる。第1のマスク210（第10A図）は第1のレジスト層211上で位置4-7をおおひ、四つ分の深さの層のエッチングが位置0-3（第10B図）で低いプラトーを作るために用いられる。第10D図における4つの2つ分の高さの増加分を残すために、第二のレジスト層213上の第二のマスク212は位置2、3、6及び7を被い隠す。その後、第三のレジスト層上の第三のマスク214は位置1、3、5、7を被い、第三の単層エッチングにより第10F図の規則的な一連のプラトーが残る。

すでに説明した理由のため、直描技術が望ましいが、個々のフォトマスクを第8図で示す高精度なビーム描込みシステムを用いて作ることもできる。基準パターンと個々のトラックを書き込む間、感光材料をエアースピンドル上のフレーム内に保持し、位置を保つことができる。

基準リング151、193は最初の書き込みの間に、クロム面に配置することが

できる。スピンドル110の位置精度が高いので基準リングはほとんど環状でリング・パターンの中心を規定し、また中心軸と同心であるので、偏心補正を必要としない。外側基準リング用のマスク220の一部を第11図で示すが、個々のトラックが非常に小さいので、これらを大きく拡大している。各々のマスク220の芯を保証するように、位相プレートの周辺近くの外側基準クロムリングとのアライメントのため、基準リング222は外側領域に与えられる。複数プラトー・パターンの個々のプラトーを規定するトラックは不透明領域224と透過領域225として示されている。

従来の方法によるシステムで個々のレンズ素子の精密な芯出しとアライメントは、長い時間と大変な努力を必要とする。この仕事を簡単化するため、位相プレート60の外周部分に近いクロム基板に初めから何組もの芯出し及び位置決めグレーティング・リング228（第2図及び第5図）が組み込まれる。従って、位相プレート60がその位置にある時、これらのリング228は自動的に芯出しされ、また臨界開口(critical aperture)にあることになる。多くのその様なグレーティング・リング・バンドは外側基準リング151と赤色光波長透過グレーティング88の間に置かれる。第12図で示すように、個々のバンドは最初の組み立てとアライメントの手順にかなり有利に用いられる。これはこれらのバンドが角度に於いてもエレメントの間隔に於いても必要な精度を保つからである。位相プレート60は最初に臨界開口(critical aperture)に配置され、それを基準として、すべてのレンズ素子の位置決めと芯出しがなされる。第12A図に見る様に、この目的のため光線（示していない）からの平行光は、位相プレート60上の芯出し及び位置決めグレーティング228の第一のバンドに照射されるよう、開口板230を通過することによりリング形状にまず成形される。その後、第一のレンズ素子234を光軸の中心に対して調整し、光を光軸上での正確な点235に集光するようにする。この点はその後軸上の基準となる。非常に小さな穴があるついた236がこの位置に置かれる。芯出しと位置決めグレーティング・リング228の組のこのバンド228はその特定の素子だけで集光するよう第一のレンズ素子234の実像の特性に関する情報によって形成される。その後、位相プレート60上の芯出しリングと位置決めリングの第二のバンド228が第二

特開平2-1109

の開口板238を通過して平行光で照明される。ここで第二のバンド237は第一のレンズ素子234と第二の素子240の組み合わせの特性に従って光線を曲げるように設計される。再び同様に光軸上の選んだ点235で焦点を結ぶまで第二の素子240は動かされる。

第12C図から分かるように、位相プレート60の臨界開口(critical aperture)位置の同じ側で全部の光学素子が付加され組み込まれるまで、この手順は個々の光学素子とグレーティング・リングのバンドについて繰り返される。

位相プレート60の反対側にあるレンズ248の位置合わせを行なう場合には、ついで236の焦点235に対応する穴が後ろからレーザー250と縮小結像レンズ252で照明される。この穴を透過した光は、第12A図、第12B図の場合と同様に、図示しない成形開口板246を経てリング状となる。このビームは、先に芯出しされたレンズ素子234、242、244を通過して位相プレートの別のバンドの組245を照明する。バンド245を通過したビームがレンズ248を透過して軸上の集光点249を作る。この点が基準として他のレンズ素子248を反対側で芯出しし、軸上の位置決めをすることができる。全部のレンズ組み立てが終了するまで、その後別のレンズ素子についてこれらのステップを繰返すことができる。即ち、レンズ248に加えて更に他のレンズの芯出しを行なう場合には、レンズ234、240等について説明したのと同様に、位相プレート60上の更に別のバンドを用いて集光点249にビームが焦点を結ぶように他のレンズを動かせばよい。

従来の芯出しそして軸方向位置決め技術も利用できると思われるが、最も精密に作られたレンズでも製造許容誤差があるため、またこれらはレンズ素子のいろいろな累積的な組み合わせに対して決定されるため、そして更に位相プレート60は臨界開口(critical aperture)に固定されるため、位相プレートそれ自身を用いることはこの点で特に有利である。

ここで第13図を参照すると、この発明による顕微鏡260の主な素子は、顕微鏡260の臨界開口(critical aperture)の位相プレート262を含む。被検標本264は透明基板266の上として一般的には厚さ0.18mmの薄いカバー・ガラス268の下に置かれる。発明による照明器270は複散光線を含む空間的

にランダム化された、時間的にコヒーレントな光ビームを標本264を通り顕微鏡260の対物レンズの方へ向かわせる。位相プレート262の設計は光学システムの屈折素子の球面収差を補正し、そして単色照明は横の色補正に対する必要をなくす。カバー・ガラス268は当たる光線に特有な球面収差を加えるが、それと同様に補正できる。特に平らな像面の対物がしばしばカメラ観察に要求され、球面収差補正は、非点収差と像の平面度も更により良く補正されることを可能とするので顕微鏡に対するこの応用には更に総合的な有利性がある。

"Axicon: A New Type Optical Element" (J.H. McLeod, "The Axicon, A New Type of Optical Element", Journal of the Optical Society of America, August 1954, pp.592-592) と題された論文に、平面波を光軸と共軸な光源のあるいは実質的な線状の像に変換する円錐平面レンズシステムの記述がある。このタイプのシステムの長所はそれが非常に細い相当な長さの円錐形針状光を与え、光学記憶再生装置のような多くの最近の光学システムに必要なオートフォーカス・システムを必要としないことである。その効果は、アキシコン面で屈折した平面波の収束と強め合いにより選ばれる。線状光の軸方向位置は収束アキシコン素子の開口で制御でき、線状光の幅あるいは大きさは開口数あるいはビームの収束角度で制御できる。しかし、特別な円錐形のそして他の非球面表面が必要となるので、このタイプの光学システムの十分な可能性はこれまでの所まだ実現に到っていない。

しかし、この発明によれば、アキシコン効果が照明器270を位相プレート272及び球面レンズ274(必要なら2個以上の屈折素子を用いてもよい)と一緒に用いることにより得られる。位相プレート272に複数のブラターを半径とは無関係に実質的に等しい幅と厚さをもつよう配列することによって、球面レンズ274との組み合わせに於いて円錐レンズの効果は2倍となる。位相プレートでの光線の曲がりは約3°に制限される。第14図から分かるように、収束平面波は有用なかなりの程度の焦点深度を与える。もし必要なら複数のブラター・リングに変化を持たせることにより、同じ位相プレート272で、球面レンズ274の球面収差が補正できるということがわかるであろう。

第15図と第16図で、発明の概念の円柱レンズ・システムへの応用が示され

ている。このような応用では、照明器270は規定された特性の光を傾きと幅が変化する平行な線の形の変形複散ブラター284を有する位相プレート282を通過するように向ける。ブラターの傾きと幅は同じ光路内にある円柱レンズの組286、288の中心光軸に対して非線形に変わる。円柱レンズの組286、288に於ける位置遅延による収差の補正は光軸に対する位置に応じ、位相プレート282全体に亘り取り入れられる。

位相プレートが、適当な光線形ととの組み合わせで、その光学システムから傾きと、円柱(レンズ)の軸を含む面内にあるシート状の光を形成する強いプリズム又は複プリズム(bi-prism)に近い作用をする、そのような位相プレートと円柱レンズの組み合わせができるということもわかるであろう。これに加えて、これまで述べた他のシステムもこの様に作られる像界内で結像システムとしても読み出しシステムとしても等しくうまく作用することができる。

多くの方法、手段及び変形を述べたが、この発明はそれだけに限られるのではなく、添付の特許請求の範囲内の全ての形態と変形を含むことが認められるであろう。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、照明系及び位相プレートを含むこの発明によるシステムの主要な要素の簡略化した側面構成図である。

第2図は、第1図のシステムに用いることのできる位相プレートの一部の正面図であり、少し変形化された形で、一般的なリング配列を示す。

第3図は、位相プレートの部分側断面図であり、位相プレートに於けるブラターの傾きと波面の歪曲の補正を示す。

第4図は、第3図と同様な別の部分側断面図であるが、ただし、波面補正の異なる様相を示す。

第5図は、ブラターに加えて内側と外側のグレーティングリングを説明する位相プレートの拡大した断面の一部描写である。

第6図は、位相プレートの他の部分側断面図であり、位相反転を組み入れる方法で示す。

第7図は、第1図のシステムで用いるウェーハ・アライメント・システムのよ

り部を示す構成及び概略図である。

第8図は、この発明に従って、位相プレートを作るための直接システムを示す断面構成図である。

第9図は、9Aから9Fの部分から成り、デポジションによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第10図は、10Aから10Fの部分から成り、エッチングによって位相プレートを形成するのに用いられる各ステップの描写である。

第11図は、この発明により位相プレートを作るのに用いることのできるフォトマスクの一部分の平面図である。

第12図は、第12A図から第12C図にて、システム内のレンズ素子のアライメントに用いることのできる個々のステップを示す。

第13図は、この発明による高い解像の顕微鏡法に用いられるシステムの一例の側面概略図である。

第14図は、本発明による、光軸に沿った針状の光の線を与えるアキシコンタイプのシステムの側面概略図である。

第15図は、本発明による位相プレートを用いた円柱レンズ・システムの簡略な配置図である。

第16図は、第15図のシステムの平面図である。

46:アライメントシステム、52:ウェーハ、58:コリメーターレンズ部、60:位相プレート、62:対物レンズ部、68:レンズ。

特許出願人 テオドル ロバート ホイットニー

代理人 弁理士 下田 容一郎

同 弁理士 大橋 邦彦

同 弁理士 小山 有

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.